



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA
APLICACIÓN EN COMPONENTES ESTRUCTURALES
AUTOMOTRICES.**

AUTORES:

**AGUIRRE GUAJAN LENIN BLADIMIR
GUEVARA GUACOLLANTE RONALD DAVID**

DIRECTOR: ING. ROMMEL PAÚL IMBAQUINGO NAVARRETE MSC.

IBARRA 2022

CERTIFICACIÓN

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ANÁLISIS DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA APLICACIÓN EN COMPONENTES ESTRUCTURALES AUTOMOTRICES" presentado por los señores: AGUIRRE GUAJAN LENIN BLADIMIR con número de cédula 1003945308 y GUEVARA GUACOLLANTE RONALD DAVID con número de cédula 1003832860 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 22 días del mes marzo del 2022.

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Rommel Imbaquingo", with a stylized flourish at the end.

Ing. Rommel Imbaquingo MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003945308	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	AGUIRRE GUAJAN LENIN BLADIMIR	
DIRECCIÓN:		Atuntaqui-Calle Gracia Moreno-Barrio La Merced	
EMAIL:		lbaguirreg@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	N/A	TELÉFONO MÓVIL:	0993945933

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003832860	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	GUEVARA GUACOLLANTE RONALD DAVID	
DIRECCIÓN:		Otavalo- Panamericana norte km3-Puente peatonal 1	
EMAIL:		rdguevarag@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	(06)2690431	TELÉFONO MÓVIL:	0994753307

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA APLICACIÓN EN COMPONENTES ESTRUCTURALES AUTOMOTRICES
AUTOR (ES):	AGUIRRE GUAJAN LENIN BLADIMIR GUEVARA GUACOLLANTE RONALD DAVID
FECHA: DD/MM/AAAA	01/04/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Rommel Paul Imbaquingo Navarrete MSc

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 01 días del mes de abril de 2020

LOS AUTORES:

Nombre: Lenin Bladimir Aguirre Guajan

C.C 1003945308

Nombre: Ronald David Guevara Guacollante

C.C 1003832860

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado está dedicado a todas las personas que siempre me brindan su apoyo incondicional, especialmente a mi madre por encargarse de formarme como persona y enseñarme todo lo necesario para ponerlo en práctica en el diario vivir; también a mi padre (+) que hasta sus últimos momentos siempre estuvo pendiente de mi crecimiento personal y profesional dando su mano hasta poder alcanzar el objetivo que me proponga. Gracias de todo corazón por compartir la mejor forma para educarme y seguir adelante.

Lenin Aguirre

Dedico el presente trabajo de grado a mis Padres, por haberme enseñado la importancia del estudio, por enseñarme a no rendirme a pesar de las adversidades, a superarme y lo más importante, a valorar mi propio esfuerzo. Gracias a sus enseñanzas he podido mejorar como persona.

Ronald Guevara

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional. Así como, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, que compartieron su sabiduría y experiencias dentro de las aulas para una mejor formación académica de forma diaria. Un agradecimiento especial a nuestro tutor de tesis al Ing. Rommel Imbaquingo quien nos supo guiar de una manera correcta, disciplinada y con gran paciencia hasta el último momento de culminación del presente trabajo.

A mi familia, amigos y personas cercanas a mí, por estar siempre en los momentos que más los necesite especialmente en las adversidades que se presentaron hasta el momento y no dejarme decaer; que por medio de sus consejos, ayuda y su cariño fueron factores que me motivaron a culminar esta etapa y empezar una nueva en mi vida.

Lenin Aguirre

Un profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte institución que me ha brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional. Así como, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, que me han su sabiduría y experiencias en el transcurso del día a día.

A mi familia por el gran apoyo y comprensión que me han dado en todo momento, gracias a su constancia he logrado culminar un peldaño más en mi vida.

También un agradecimiento especial al Ing. Rommel Imbaquingo por su paciencia y dedicación ya que fue un guía indispensable para culminar el presente trabajo.

Ronald Guevara

INDICE DE CONTENIDOS

<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>xii</i>
CAPITULO I	1
1. Revisión Bibliográfica	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo General	1
1.1.2. Objetivos Específicos	1
1.2. Justificación	1
1.3. Alcance	2
1.4. Antecedentes	2
1.5. Planteamiento Del Problema	4
1.6. Situación Actual	5
1.7. Elementos Estructurales Del Vehículo	6
1.7.1. Chasis	6
1.7.2. Atenuador De Impacto O “Crash-Box”	7
1.7.3. Guardachoque O “Bumper”	8
1.8. Ingeniería de los Materiales	8
1.9. Materiales Compuestos	9
1.9.1. Definición	9
1.10. Análisis de los Materiales Compuestos	11
1.10.1. Materiales Ortotrópicos	11
1.10.2. Materiales Isotrópicos	11
1.11. Componentes de los Materiales Compuestos	12
1.11.1. Matriz	12
1.11.2. Refuerzos	12
1.11.3. Fibras	13
1.12. Materiales Compuestos Reforzados Con Fibras	15

1.13.	Orientación de las Fibras.....	16
1.14.	Influencia de la Longitud de la Fibra	17
1.15.	Modelado Del Material Compuesto	18
1.15.1.	Estratificación por Compresión	18
1.15.2.	Estratificación Manual.....	19
1.16.	Propiedades Mecánicas de los Materiales	20
1.17.	Esfuerzos	20
1.17.1.	Tipos de Esfuerzos	21
1.18.	Ensayo De Materiales.....	22
1.18.1.	Definición.....	22
1.18.2.	Ensayo de tracción.....	22
1.18.3.	Ensayo de Flexión	23
1.18.4.	Ensayo de Impacto	24
1.19.	Optimización de los Materiales	25
1.19.1.	Optimización Topológica	25
1.20.	Recopilación de caracterización de Materiales Compuestos.....	25
1.21.	Normas Euro NCAP.....	27
CAPITULO II.....		29
2.	<i>Métodos Y Materiales</i>	29
2.1.	Enfoque de Metodología	29
2.1.1.	Tipos de investigación	29
2.1.2.	Tipos de Métodos	30
2.2.	Materiales Y Equipos	31
2.2.1.	Equipos	31
2.2.2.	Herramientas	31
2.2.3.	Materiales	31
2.3.	Proceso Metodológico.....	32
2.4.	Proceso de selección del material compuesto ideal.....	32
2.5.	Análisis y Modelado del Bumper Original.....	37

2.5.1. Cilindro de Impacto	40
2.5.2. Características del cilindro de impacto	41
2.6. Optimización Del Bumper Original.....	41
2.7. Proceso De Selección Del Prototipo	44
2.7.1. Diseño de Varios Prototipos.....	44
2.7.2. Condiciones De La Simulación Para La Elección Del Mejor Prototipo ...	50
2.8. Simulación	52
2.8.1. Carta de Control para la Aplicación de Propiedades de los Materiales. .	52
2.8.2. Condiciones Para La Simulación	53
2.8.3. Controles De Simulación.....	57
<i>CAPITULO III</i>	59
3. Resultados y Análisis	59
1.1. Resultados	59
1.1.1. Resultados de la simulación de los prototipos.....	59
1.1.2. Resultados de las simulaciones del bumper original	62
1.1.3. Resultados de las simulaciones del Bumper Optimizado.....	63
1.1.4. Resultados de las simulaciones en los tres modelos propuestos	65
1.2. Análisis para la validación de los resultados.....	68
1.2.1. Ensayo INEN.....	69
1.2.2. Simulación Computacional En Comparativa Del Ensayo INEN	70
<i>CAPITULO IV</i>	75
4. Conclusiones Y Recomendaciones	75
4.1. Conclusiones.....	75
4.2. Recomendaciones.....	76
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</i>	78
<i>ANEXOS</i>	92

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Principales componentes estructurales automotrices.....	6
Figura 1.2. Chasis autoportante	7
Figura 1.3. El atenuador de impacto ubicado al frente del vehiculo, unido por pernos y soldadura al resto del chasis.	7
Figura 1.4. Parachoques frontal y trasero presente en una carroceria autoportante.	8
Figura 1.5. Ejemplo de material compuesto.....	10
Figura 1.6. Evolucion de los materiales en un linea de tiempo	10
Figura 1.7. Madera, ejemplo de material ortotrópico.....	11
Figura 1.8. Un bloque de acero, ejemplo de material isotrópico.....	12
Figura 1.9. Clasificación de los materiales compuestos según el refuerzo	12
Figura 1.10. Clasificación según origen de fibras	14
Figura 1.11. Orientacion de las fibras	16
Figura 1.12. Efecto de orientación de refuerzos en un material compuesto.....	17
Figura 1.13. Transferencia de carga por esfuerzo constante (Figura 1–3).....	18
Figura 1.14. Esquema de moldeado por compresión	188
Figura 1.15. Esquema del moldeado por compresión	199
Figura 1.16. Diferentes tipos de esfuerzos	200
Figura 1.17. Diseño de la probeta para el ensayo de tracción	233
Figura 1.18. Diseño de la probeta para ensayo de flexión.....	244
Figura 1.19. Proceso computarizado de optimización topológica.....	255
Figura 1.20. Resistencia a los choques para peatones donde se utilizará las referencias del recuadro seleccionado.....	288
Figura 2.1. Diseño original de bumper aislado del vehículo Toyota Yaris, dimensiones del bumper: longitud 1195 mm, ancho 187 mm y profundidad 42 mm.....	388
Figura 2.2. Curva de esfuerzo (Mpa) vs deformación (mm/mm) del bumper de automovil Toyota Yaris	39
Figura 2.3. Carta de control del material original	39
Figura 2.4. Modelo del atenuador o bumper renderizado en superficies.	400
Figura 2.5. Características del cilindro de impacto	411
Figura 2.6. Malla de tipo “solid”tetraédrica con 19437 modos y 8829 elementos	411
Figura 2.7. Asignación de soportes fijos en las uniones de los parantes del bastidor	422
Figura 2.8. Asignación de la carga de impacto	422

Figura 2.9. Optimización topológica de parte frontal de bumper.....	422
Figura 2.10. Triangulación para unir el atenuador con la base optimizada.....	433
Figura 2.11. Modelo preliminar con nervaduras y optimizado del bumper	444
Figura 2.12. Carta de control de material de fibra de cabuya.....	455
Figura 2.13. Orientación de las fibras en el programa LS–Dyna	455
Figura 2.14. Orientación de las fibras en el programa LS–Dyna	466
Figura 2.15. Orientaciones de las fibras en el programa LS–Dyna.....	466
Figura 2.16. Dimensiones generales prototipo A	477
Figura 2.17. Dimensiones generales prototipo B	477
Figura 2.18. Dimensiones generales prototipo C	489
Figura 2.19. Mallado con índice de calidad Jacobiano prototipo A (mín. 0,313, valor permitido mayor a 0.3)	49
Figura 2.20. Mallado con índice de calidad Jacobiano prototipo B (mín. 0.414, valor permitido mayor a 0.3)	49
Figura 2.21. Mallado con índice de calidad Jacobiano prototipo C (mín. 0.403, valor permitido mayor a 0.3)	50
Figura 2.22. Condiciones de simulacion plasmados en el modelo preliminar del bumper optimizado.	51
Figura 2.23. Carta de control de materiales aplicado para el material original.....	52
Figura 2.24. Carta de control de materiales aplicado para el material de fibra de carbono	522
Figura 2.25. Carta de control de materiales aplicado para el cilindro de impacto	53
Figura 2.26. Dimensiones del atenuador original Toyota Yaris.....	533
Figura 2.27. Mallado con índice de calidad Jacobiano (mín. 0.647, valor permitido mayor a 0.3).....	54
Figura 2.28. Dimensiones atenuador optimizado	55
Figura 2.29. Mallado con índice de calidad Jacobiano (mín. 0.313, valor permitido mayor a 0.3).....	55
Figura 2.30. Asignación de velocidad distribuida en todos los nodos del cilindro de impacto	56
Figura 2.31. En amarillo nodos restringuidos correspondientes a las bases del atenuador	56
Figura 2.32. Carta de control utilizada para generar contacto entre todos los cuerpos	57

Figura 2.33. Gráfico de “Keyword Manager” correspondiente a la activación de cartas en LS-Dyna.....	58
Figura 3.1. Simulación de impacto, de izquierda a derecha primero el prototipo A, luego el prototipo B y por ultimo el prototipo C.....	59
Figura 3.2. Esfuerzos de Von Mises al impactar el cilindro y mostrando la máxima deformación en cada prototipo	60
Figura 3.3. Atenuadores en la máxima deformación.....	60
Figura 3.4. Desplazamiento del cilindro en cada prototipo al momento del impacto	61
Figura 3.5. Simulación de impactado con el bumper original del vehiculo Toyota Yaris en el programa ANSYS WORKBENCH.....	633
Figura 3.6. Simulación del diseño del bumper optimizado con el material compuesto de fibra de cabuya.....	644
Figura 3.7. Simulación del diseño del bumper optimizado en base del material compuesto de fibra de carbono	655
Figura 3.8. Vista superior de impacto del bumper para los diferentes diseños: A. diseño original; B. diseño de fibra de cabuya; y C. diseño de fibra de carbono.....	666
Figura 3.9. Desplazamiento en x en diferentes diseños bumper (A. Original; B. Fibra de cabuya; y C. Fibra de carbono).....	666
Figura 3.10. Esfuerzo de Von Mises en diferentes diseños bumper (A. Original; B. Fibra de cabuya; C. Fibra de carbono).....	677
Figura 3.11. Dimensiones de probeta para ensayo de compresión, largo 642 mm, ancho max. 136 mm, alto 179 mm.....	688
Figura 3.12. Proceso de construcción de la probeta para ensayo de compresión.....	699
Figura 3.13. Ensayo de compresión realizado al elemento estructural	699
Figura 3.14. Ficha técnica donde se detallan los datos sobre el ensayo de compresión ..	700
Figura 3.15. Probeta durante el ensayo INEN.....	70
Figura 3.16. Generación de malla de elementos finitos de tipo Shell, número de elementos 49040 y numero de nodos 48994.....	71
Figura 3.17. Comprobación de índice de calidad de malla con jacobiano 0.3.....	71
Figura 3.18. Modelo para simulación de carga por compresión, en rojo probeta a escala de ensayo	722
Figura 3.19. Gráfico superior asignación de carga en cada nodo del cilindro para la simulación de compresión, grafico inferior curva de carga.....	722

Figura 3.20. Ensayo probeta de material compuesto, grafico esfuerzo combinado de Von Mises, en esfuerzo máximo	733
Figura 3.21. Simulación ensayo computacional en la probeta del material compuesto...	744
Figura A.I.0.1. Hoja técnica que especifica el proceso y parámetros del ensayo realizado en el laboratorio INEN	92
Figura A.II.2. Hoja técnica donde se aprecia el resultado del ensayo en el prototipo	93

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Recopilación de fibras convencionales	14
Tabla 1.2. Recopilación de fibras naturales.....	15
Tabla 1.3. Recopilación de caracterización de materiales compuestos de las diferentes investigaciones a nivel nacional.	266
Tabla 2.1. Equipos utilizados.....	311
Tabla 2.2. Herramientas utilizadas	311
Tabla 2.3. Materiales utilizados.....	311
Tabla 2.4. Alternativas de materiales compuestos	322
Tabla 2.5. Factores para seleccionar el material compuesto	333
Tabla 2.6. Rango de calificación	34
Tabla 2.7. Calificación con los distintos factores	344
Tabla 2.8. Resultados de la división para obtener el valor unitario.....	35
Tabla 2.9. Operación previo a la sumatoria.....	36
Tabla 2.10. Resultados de la selección de material compuesto.....	366
Tabla 2.11. Propiedades mecánicas del material compuesto con cabuya y resina.....	37
Tabla 2.12. Propiedades mecánicas de la fibra de carbono	377
Tabla 2.13. Propiedades mecánicas del bumper correspondiente a un Toyota Yaris	388
Tabla 2.14. Condiciones generales de simulación.....	511
Tabla 2.15. Número de elementos y nodos en modelos para simular bumper original....	544
Tabla 2.16. Número de elementos y nodos en modelos para simular bumper optimizado	555
Tabla 3.1 Resumen de resultados obtenidos en el programa LS-DYNA de los diferentes prototipos a elegir.....	61
Tabla 3.2 Resumen de resultados obtenidos en el programa LS-DYNA de los diferentes diseños de bumper.....	67

INDICE DE ANEXOS

Anexo I. Ensayo en el laboratorio INEN.....	92
Anexo II. Artículo científico.....	93

RESUMEN

En el presente trabajo se enfocó en la aplicación de materiales compuestos en elementos estructurales mediante ensayos FEM y experimentales basados en la variación de diseños CAD con el fin de determinar si los materiales alternativos logran alcanzar las características mecánicas de un material homogéneo. El primer paso fue indagar varias caracterizaciones de materiales compuesto mediante un recopilatorio de investigaciones previamente realizadas con el fin de seleccionar el material más idóneo para el desarrollo del trabajo, que en este caso fue la fibra de cabuya con resina epóxica. Conjuntamente se realizó una optimización topológica al elemento estructural bumper mediante programas de simulación CAD y de esta forma diseñar (en base a los resultados de la optimización), varios prototipos que luego fueron sometidos a simulaciones mediante software CAE para seleccionar el modelo más apto. Una vez seleccionado el modelo se procedió a ingresar las propiedades de los materiales por medio del software CAE cabe mencionar que se ingresó tres tipos de materiales al prototipo (material original, fibra de cabuya con resina epóxica y fibra de carbono) esto con la finalidad de realizar un análisis comparativo y para poder determinar la fiabilidad del material. Para el proceso de validación se manufacturó el modelo más idóneo con el material compuesto elegido (resina epoxi y fibra de cabuya) y se validó los resultados de la simulación CAE mediante un ensayo experimental en los laboratorios INEN (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización) para realizar un análisis del prototipo fabricado y optimizado topológicamente, con el fin de determinar si el modelo cumple o no con los parámetros de esfuerzos en la aplicación de componentes estructurales automotrices.

ABSTRACT

In the present work he focused on the application of composite materials in structural elements through FEM and experimental tests based on the variation of CAD designs in order to determine if alternative materials manage to achieve the mechanical characteristics of a homogeneous material. The first step was to investigate several characterizations of composite materials through a compilation of research previously carried out in order to select the most suitable material for the development of the work, which in this case was cabuya fiber with epoxy resin. Together, a topological optimization was carried out to the bumper structural element through CAD simulation programs and in this way design (based on the results of the optimization), several prototypes that were then subjected to simulations using CAE software to select the most suitable model. Once the model was selected, the properties of the materials were entered through the CAE software, it is worth mentioning that three types of materials were entered into the prototype (original material, cabuya fiber with epoxy resin and carbon fiber) this in order to perform a comparative analysis and to determine the reliability of the material. For the validation process, the most suitable model was manufactured with the chosen composite material (epoxy resin and cabuya fiber) and the results of the CAE simulation were validated through an experimental test in the INEN laboratories (Ecuadorian National Institute of Standardization) to perform an analysis of the prototype manufactured and optimized topologically, in order to determine whether or not the model meets the parameters of efforts in the application of components automotive structural.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la aplicación de elementos estructurales ha ido en aumento y se ha realizado numerosos avances, haciéndola más interesante para implementar materiales compuestos que puedan cumplir con las normas de resistencia a esfuerzos, como también el avance tecnológico en diversos campos de producción por sus costos y lo amigable que resulta para el medio ambiente. Los materiales compuestos han formado parte de investigaciones que tienen relación con el uso alternativo en la elaboración de pequeños componentes auxiliares y estructuras no tan complejas, el desarrollo de estas nuevas técnicas de fabricación serán de gran importancia en el futuro ya que gracias a las características que tienen estos compuestos alternativos podrán aplicarse en varios campos de la industria y cumplir con las normas de calidad con ventajas significativas en aspectos como el peso y la resistencia del material. La contaminación ambiental ha sido tema de discusión a lo largo de los años, los gases producto de la obtención de materia prima afecta la calidad de vida de las personas. Además, la fabricación masiva de componentes derivados del plástico y su comercialización a gran escala influye en la acumulación de desechos que no son biodegradables. Para eso el proyecto está destinado al análisis de materiales compuestos para aplicarlo en elementos estructurales mediante la simulación de varios prototipos, validando los resultados obtenidos con una simulación y posterior fabricación para obtener parámetros que cumplan con estándares de fabricación. La cultura en la utilización de elementos estructurales ha permitido que las empresas que distribuyen materiales convencionales se apoderen del mercado produciendo problemas como: materia prima escasa, precios elevados y alta contaminación. En la búsqueda por reducir estos problemas, tanto los gobiernos como ciertas empresas que buscan la conservación del medio ambiente han propuesto varias alternativas para evitar el aumento de desechos que no son reutilizables, una de estas ideas es la de volver a usar residuos en el proceso de fabricación de materiales compuestos, generando menos desperdicios y reduciendo los costos de producción al utilizar la mitad de la materia prima como elemento principal y la otra mitad de material reciclable como refuerzo en un mismo proceso.

CAPITULO I

1. Revisión Bibliográfica

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Aplicar materiales compuestos en elementos estructurales mediante ensayos FEM y experimentales basados en la variación de diseños CAD con el fin de determinar si los materiales alternativos logran alcanzar las características mecánicas de un material homogéneo.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Indagar varias caracterizaciones mecánicas de materiales compuestos mediante una recopilación de investigaciones previamente realizadas con el fin de determinar el material compuesto más idóneo para realizar la aplicación y el ensayo experimental en componentes estructurales.
- Diseñar varios prototipos de elementos estructurales mediante la utilización de un software CAD con el fin de determinar el modelo más idóneo.
- Realizar el análisis estructural a los prototipos diseñados por medio de simulaciones en un software CAE para obtener parámetros de esfuerzos.
- Validar el mejor prototipo de elemento estructural por medio de la manufactura y ensayos experimentales del material compuesto seleccionado con la finalidad de determinar el uso o no de materiales compuestos en estructuras.

1.2. Justificación

El proyecto está enfocado en utilizar materiales compuestos en elementos estructurales automotrices buscando validar su uso o su posible remplazo. También de manera indirecta confrontar el problema de la contaminación gracias a su naturaleza orgánica ya que el material puede descomponerse, logrando así una reducción del impacto ambiental en los procesos industriales; además de conservar la naturaleza por medio de la reutilización de fibras que se encontraban destinadas a desecharse.

Otro factor para la investigación del proyecto es realizar un análisis de los materiales compuesto en elementos estructurales para poder determinar si a un futuro pueden ser

aplicados en diferentes ámbitos como son los materiales convencionales que están en condiciones para soportar esfuerzos considerables.

El proyecto se relaciona con el objetivo de los derechos de la naturaleza para las descendencias actuales y futuras, principalmente con la política 3.4 que manifiesta: Incitar actividades que contribuyan para menguar la contaminación, la preservación, la atenuación y la conciliación al impacto existente del cambio climático, y estimular generalmente en el ámbito global (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017). Al fomentar el uso de materiales compuestos para reducir la contaminación que provoca la descomposición de materiales homogéneos hacia el ambiente desarrollando un mejor entorno natural y garantizando uno de los derechos de vida para todos los seres vivientes.

1.3. Alcance

La investigación se realizó en la provincia de Imbabura, Ibarra-Universidad Técnica del Norte. El alcance del proyecto incluye la utilización de materiales compuestos para la manufactura del elemento estructural considerado óptimo. Para la indagación de estos materiales se utilizó fuentes de investigación en los repositorios universitarios a nivel nacional con el fin de elegir la materia prima con la que se trabajó. Para el diseño de los elementos estructurales se ha optado por utilizar un software de diseño CAD que nos ayudó en la elección del prototipo que mejor se adapte a nuestras necesidades, además de la utilización de un software CAE para obtener parámetros de esfuerzos mediante la simulación. Con respecto a la validación del prototipo óptimo se tomó en cuenta los resultados de la simulación CAE que ayudó en el proceso de fabricación artesanal, utilizando conocimientos empíricos y técnicos que se comprobaron por medio de un ensayo experimental que se realizó en el laboratorio del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) de la ciudad de Quito, tomando en cuenta los estándares existentes en nuestro país. Posteriormente se obtuvo un informe de resultados que nos mostró una visión real del comportamiento del prototipo al encontrarse con esfuerzos de carga máxima.

1.4. Antecedentes

Los materiales compuestos se identifican por la unión de varios elementos para la obtención de un nuevo material con nuevas características en comparación del material primario en el que por medio de una matriz y la presencia de fibras en dicho material tiene la capacidad de

mejorar sus propiedades mecánicas (Pertuz et al., 2019). La aplicación de materiales compuestos da un importante aporte en la industria mecánica para los procesos de manufactura por ser materiales de buenas propiedades mecánicas, económicos, livianos y de fácil desarrollo (Salinas et al., 2017).

Por las buenas propiedades que presentan los materiales compuestos tanto a nivel internacional como nacional existen varias investigaciones donde se aprecia diversas aplicaciones en distintas industrias como: industria automotriz, industria ortopédica, industria tecnológica, industria metalúrgica, entre otras.

En un estudio por parte de (Nava et al, 2018), propusieron una prótesis de un miembro inferior a base de fibra de carbono con matriz epoxi y otra con matriz de poliéster. Por medio de probetas, sometieron a esfuerzos de tensión a ambos materiales, la fibra de carbono con matriz epoxi obtuvo un valor superior a 249MPa, mientras que la tensión con matriz de poliéster fue de 226MPa, llegando a determinar que los resultados fueron los esperados por parte de los investigadores.

En otra investigación acerca de reparaciones estructurales de hormigón armado (González et al., 2017), analiza la fiabilidad de hacer refuerzos con fibra de carbono y matriz de polímeros tomando en cuenta el factor ambiental, económico y de control de calidad. Esta investigación obtuvo que: al realizar las reparaciones con hormigón armado reforzado con el material compuesto, cumple con los aspectos considerados, siendo este más accesible ante los refuerzos de otros materiales.

En un estudio realizado en Ecuador, (Hoyos et al, 2019) proponen analizar un material compuesto a base de resina foto polimérica fortificada con fibra de cabuya y abacá en comparación a los materiales originales de una rejilla que es parte del ducto de aire acondicionado de un vehículo. Los resultados fue que ambos materiales compuestos presentaron un módulo de elasticidad superior al del material matriz determinando que existe la posibilidad de sustituirlo por tener una mayor rigidez.

En otra investigación por parte de (Pachacama, 2015) proponen la elaboración de un elemento estructural de capot a base de una matriz epoxi con fibra de cabuya. Previo a la

elaboración se realizó unas probetas de acuerdo con la normativa ASTM para pruebas de compresión y de flexión; para de esta manera comparar con referencias bibliográficas de esa época. Como resultado se obtuvo que: el valor de resistencia del material a compresión es superior con un 45% y la elasticidad con un 8%, con respecto a la referencia; mientras que, en la prueba de flexión el valor de resistencia disminuye en un 26%. En la manufactura del capó se obtuvo un ahorro representativo ante el valor de fábrica.

1.5. Planteamiento Del Problema

En el Ecuador existen pocas empresas que se enfocan en los campos relacionados con la fabricación de materiales compuestos, su uso está reducido a componentes muy simples y que no están sometidos a esfuerzos. El mayor problema de estos materiales es que sus propiedades no son aptas para usos estructurales y también dependiendo de la matriz y el refuerzo podría implicar un incremento de precio por su tiempo y proceso de fabricación.

¿Cuál es la factibilidad de la utilización de los materiales compuestos con fibras naturales dentro de las estructuras automotrices?

La cultura en la utilización de elementos estructurales ha permitido que las empresas que distribuyen materiales convencionales se apoderen del mercado produciendo problemas como: materia prima escasa, precios elevados y alta contaminación. En el camino por reducir estos problemas, tanto los gobiernos como ciertas empresas que buscan la conservación del medio ambiente han propuesto varias alternativas para evitar el aumento de desechos que no son reutilizables, una de estas ideas es la de volver a usar residuos en el proceso de fabricación de materiales compuestos, generando menos desperdicios y reduciendo los costos de producción al utilizar la mitad de la materia prima como elemento principal y la otra mitad de material reciclable como refuerzo en un mismo proceso (Freire et al, 2021).

Las industrias no tienen en cuenta el uso de materiales alternativos en la fabricación de piezas complejas o estructuras ya que su investigación y desarrollo representaría una gran inversión para poder aplicarlos masivamente.

1.6. Situación Actual

La aplicación de los materiales en el país está enfocada en su mayoría en áreas de investigación donde se realizan caracterizaciones de materiales compuestos sometidos a ciertas pruebas de esfuerzos como: esfuerzos de tracción, flexión, torsión, cizallamiento y tensión, sin embargo, no se ha dado a conocer estudios de materiales compuestos encaminados a la elaboración de elementos estructurales automotrices.

Con base a lo propuesto en el proyecto se puede establecer que existe una carencia de análisis enfocados a estructuras en nuestro medio, por lo que se propone realizar este estudio con el fin de conocer la posibilidad del uso de los materiales compuestos en una diferente área que requiera mayor esfuerzo, para que formen parte de componentes estructurales y no se limiten a implementarse en elementos que estén sometidos a esfuerzos simples, con el fin de incentivar la investigación de los materiales compuestos que, en el futuro, podrían remplazar algunas partes piezas importantes en los elementos estructurales automotrices.

En las últimas décadas, la aplicación de elementos estructurales ha ido en aumento y se ha realizado numerosos avances, haciéndola más interesante para implementar materiales compuestos que puedan cumplir con las normas relacionadas con las propiedades de los materiales, como también el avance tecnológico en diversos campos de producción por sus costos y lo amigable que resulta para el medio ambiente.

Los materiales compuestos han formado parte de investigaciones que tienen relación con el uso alternativo en la elaboración de pequeños componentes auxiliares y estructuras no tan complejas, el desarrollo de estas nuevas técnicas de fabricación serían de gran importancia en el futuro ya que gracias a las características que tienen estos compuestos alternativos podrían dar paso a diversas aplicaciones en varios campos de la industria y se cumpliría con las normas de calidad obteniendo posibles ventajas significativas en aspectos como el peso y la resistencia del material.

La contaminación ambiental ha sido tema de discusión a lo largo de los años, los gases producto de la obtención de materia prima afecta la calidad de vida de las personas. Además, la fabricación masiva de componentes derivados del plástico y su comercialización a gran escala influye en la acumulación de desechos que no son biodegradables.

1.7. Elementos Estructurales Del Vehículo

Los elementos estructurales son importantes en el diseño de un vehículo, influyen en el peso, seguridad activa y pasiva, optimización y aerodinámica.

Los autos actualmente en su mayoría ya están focalizados hacia la seguridad, una de las partes más importantes es el chasis, la cual tiene diferentes partes y resistencias (Castro, 2020).



Figura 1.1. Principales componentes estructurales automotrices
(FirstStop, 2019)

En la figura 1.1 Se puede apreciar un despiece de los principales componentes estructurales que intervienen en la resistencia de esfuerzos y la seguridad del vehículo.

1.7.1. Chasis

Considerado como un elemento estructural primordial para el vehículo ya que por sus propiedades se encarga de soportar esfuerzos presentes tanto al momento de estar en movimiento, como en su estado de reposo. Un criterio importante también es la integridad ya que el chasis debe tener la resistencia necesaria para un impacto por accidente.

Sus elementos básicos son:

- Largueros delanteros
- Largueros superiores
- Travesaño delantero
- Pilares

- Largueros traseros
- Largueros inferiores
- Vigueta transversal
- Techo
- Barras laterales



Figura 1.2. Chasis autoportante
(Ruta, 2019)

En la figura 1.2 se detalla un chasis modelado por computador, con las zonas que se deforman para absorber los impactos resaltados con color azul.

1.7.2. Atenuador De Impacto O “Crash-Box”

Es un elemento estructural directamente relacionado con la seguridad pasiva del vehículo ya que actúa solo cuando ocurre un impacto. Su principal característica es que se deforma para absorber la energía producida por el choque (Liu & Ding, 2020).

El estudio y diseño de los atenuadores de impacto es importante en la seguridad pasiva de casi todos los vehículos y más en los actuales, de hecho, hay centros de investigación especializados en el diseño y análisis de impactos por medio de software que se aplica luego en la vida real.

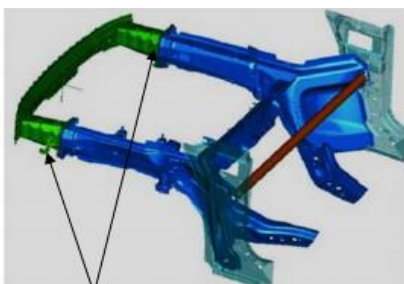


Figura 1.3. El atenuador de impacto ubicado al frente del vehículo, unido por pernos y soldadura al resto del chasis.
(Liu & Ding, 2020)

1.7.3. Guardachoque O “Bumper”

Este elemento estructural es literalmente un travesaño que forma parte del chasis y que une los largueros. Forma parte del atenuador de impacto y su función principal es absorber la energía producida por algún choque o accidente.

Debido a sus características y propiedades se puede deformar y recibir los impactos.

Puede estar ubicado adelante siendo un complemento del pilar delantero A y también en la parte posterior, complementando el pilar trasero B de la carrocería autoportante (Automexico, 2019).



Figura 1.4. Parachoques frontal y trasero presente en una carrocería autoportante. (Mopar, 2019)

En la figura 1.4 se observa el bumper delantero y trasero de un Jeep Cherokee

1.8. Ingeniería de los Materiales

La ingeniería de los materiales es un estudio muy complejo que está presente en las investigaciones y en el proceso o manufactura de materia prima para la industria:

La Ciencia e Ingeniería de Materiales constituye el campo de acción que fundamenta la obtención y puesta en marcha de materiales funcionales mediante productos con aprobación industrial y social. La Ciencia de Materiales representa un escenario mixto de confluencia y de aplicación de las ciencias básicas, entre ellas la química, la física y las matemáticas. Se requiere la química en los procesos de síntesis, inorgánicos y orgánicos, en la caracterización (análisis) de materiales y en la valoración de propiedades. La física permite la evaluación de las propiedades

mecánicas, térmicas, ópticas, eléctricas y magnéticas, entre otras (Carriazo et al, 2017).

1.9. Materiales Compuestos

1.9.1. Definición

Cuando se habla de materiales compuestos se refiere a la combinación de diferentes materiales disponibles para mejorar características iniciales:

Los materiales compuestos se forman mediante uniones no químicas de dos o más componentes, dando lugar a nuevas características o propiedades específicas de cada unión. En los materiales compuestos se deben considerar dos componentes: la matriz y el refuerzo, de acuerdo con el uso y las cargas a las que puedan estar sometidos. En la naturaleza son pocos los materiales constituidos por un solo elemento, la mayor parte son una mezcla de diferentes componentes que al combinarse producen un material compuesto que presenta un desempeño, generalmente, mejor que el de cada uno de los materiales por separado (Marcela et al, 2013).

Se trata de un material multifacético que se obtiene a través de la combinación artificial de materiales formados por dos fases como son: una matriz o también conocida como fase continua y una fase discontinua o refuerzo. (López, 2015).

El objetivo que determina que es un material compuesto es lograr un efecto sinérgico en las propiedades del compuesto logrando que sean superior a la que poseen los materiales de forma individual. (Granda, 2016).

Los componentes del material compuesto no deben disolverse ni fusionarse completamente entre ellos, es decir, los materiales deben poderse identificar por medios físicos, ya que son heterogéneos. El hecho de que los materiales compuestos sean heterogéneos muchas veces hace que también sean anisotrópicos (sus propiedades dependen de la orientación del material de refuerzo), por lo que hace que sus propiedades no serán las mismas en todo su volumen (Composites, 2016).

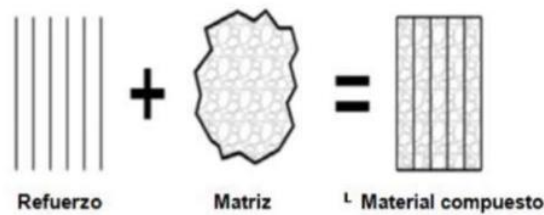


Figura 1.5. Ejemplo de material compuesto.
(Molina et al, 2017)

En la fig. 1.5 se tiene un ejemplo de un material compuesto formado por un refuerzo lineal y una matriz de cualquier tipo (Molina & Gaibor, 2017). Se puede apreciar que el material de refuerzo influye en la orientación obteniendo una estructura lineal que, cuando se une a una matriz que tiene una forma irregular, se obtiene un material compuesto más complejo pero que se puede distinguir físicamente.

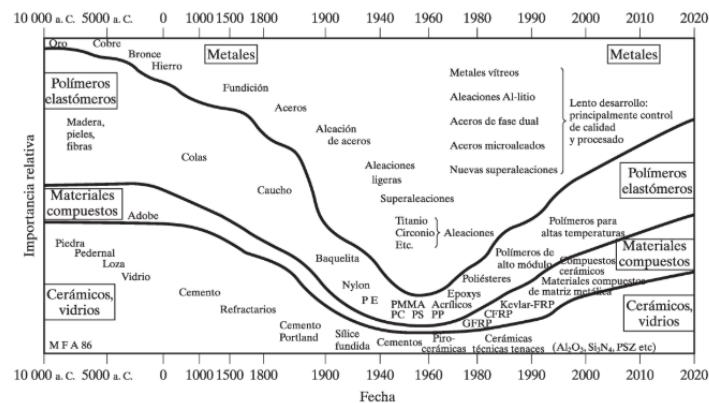


Figura 1.6. Evolución de los materiales en una línea de tiempo
(Shackelford, 2010)

En la fig.1.6 se puede apreciar cómo han ido evolucionando los materiales en diferentes etapas de tiempo. En la actualidad los materiales compuestos se ha notado un incremento de su utilización, esto se debe a factores como las nuevas propiedades mecánicas, tipos de diseño y costos, en comparación a los materiales convencionales. Además, estos materiales pueden ser amigables con la naturaleza, reduciendo el impacto ambiental durante su uso y producción. En la industria automotriz se incrementó la utilización de estos materiales compuestos dado a que pueden brindar mayor ligereza sin oponerse a la resistencia (Aperador et al, 2015).

1.10. Análisis de los Materiales Compuestos

1.10.1. Materiales Ortotrópicos

Un material ortotrópico es aquel que si toma en cuenta la dirección de sus propiedades ya que cada una es independiente en sus tres dimensiones y su análisis arroja resultados diferentes que deben ser tomados en cuenta:

Se caracteriza por tener dos o tres ejes ortogonales entre sí, de doble simetría rotacional, de forma que sus propiedades mecánicas son, en general, diferentes en las direcciones de cada uno de esos ejes y estos dependen de la dirección en que son medidas (DbPedia, 2020).

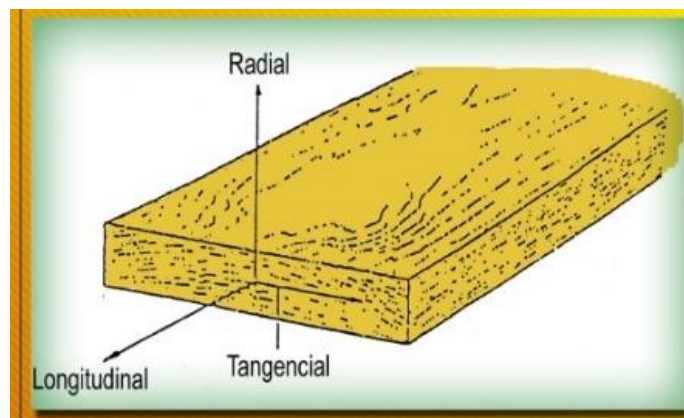


Figura 1.7. Madera, ejemplo de material ortotrópico.
(Cueva, 2005)

La madera, (Fig. 1.7) es un ejemplo de material ortotrópico: Las direcciones de materiales ortotrópicos en un componente se definen según la geometría de referencia seleccionada. Por ejemplo, las propiedades mecánicas de la madera en un punto se describen en las direcciones longitudinal, radial y tangencial. El eje longitudinal es paralelo a la dirección del grano (fibra), el eje radial sigue la dirección de los anillos de crecimiento y el eje tangencial es tangente a los anillos de crecimiento (Dassault Systèmes, 2010).

1.10.2. Materiales Isotrópicos

Un material es isotrópico si sus propiedades mecánicas y térmicas son las mismas en todas las direcciones. Los materiales isotrópicos pueden tener estructuras microscópicas homogéneas o no homogéneas. Por ejemplo, el acero muestra un comportamiento isotrópico (Dominguez, 2018).

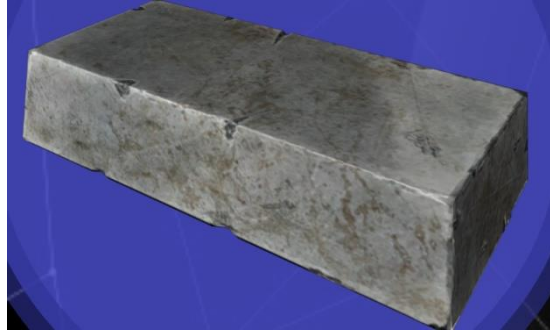


Figura 1.8. Un bloque de acero, ejemplo de material isotrópico.
(Flores, 2018)

1.11. Componentes de los Materiales Compuestos

1.11.1. Matriz

La matriz es una parte importante para el material compuesto ya que de ella depende muchos factores como la orientación de las fibras, la carga y la forma del material:

Esta transfiere y distribuye la carga hacia y entre las fibras de refuerzo para mantenerlas en su lugar y con la orientación adecuada. Protege a las fibras, encapsulándolas y evitando que sufran daños de manejo, mecánicos y/o medioambientales. Proporciona la morfología final del elemento fabricado con material compuesto y condiciona en gran medida el proceso de fabricación. Controla en gran medida la resistencia a impacto y tolerancia al daño del material compuesto (Madrid, 2019).

1.11.2. Refuerzos

Podemos encontrar el tipo de refuerzo que pueden tener los materiales compuestos en el siguiente gráfico:



Figura 1.9. Clasificación de los materiales compuestos según el refuerzo
(Espinoza et al, 2016)

En la figura 1.9 se puede observar la clasificación de los refuerzos. En la unión de la matriz-refuerzo, el refuerzo cede nuevas propiedades al material, aunque las fibras en si tienen una

alta resistencia, su deformación no se compara con la de una matriz por lo que es necesario realizar una composición para mejorar sus propiedades (Eduardo et al., 2013).

1.11.3. Fibras

Las fibras son parte esencial para formar los materiales compuestos, su uso varía dependiendo de la elasticidad del producto final. Es el elemento reforzante por excelencia ya que su función primaria en el material compuesto es la de soportar y transmitir las cargas a lo largo de su dirección. El módulo elástico en cualquier material es una propiedad ligada al enlace atómico, es proporcional a la fuerza de los enlaces químicos (Madrid, 2019).

El uso de fibras se remonta a épocas desde la antigüedad, pero la tecnología ha ido incluyendo esta técnica en otras áreas. Tienden a ser utilizadas a manera de materia para la elaboración de productos como: telares, artesanías, papel y entre otros utilizando como refuerzo en varias matrices cerámicas y metálicas con el afán de mejorar propiedades en materiales compuestos llamados composites (Flores, 2018).

Las fibras son estructuras unidimensionales, largas y delgadas. Se doblan con facilidad y su propósito principal es la creación de tejidos. Son polímeros útiles como fibras los que tienen un alto grado de cristalinidad y fuerte interacción de cadenas adyacentes, esta orientación es la que proporciona la fuerza tensil (España, 2011).

Su clasificación puede evidenciarse en el siguiente gráfico:

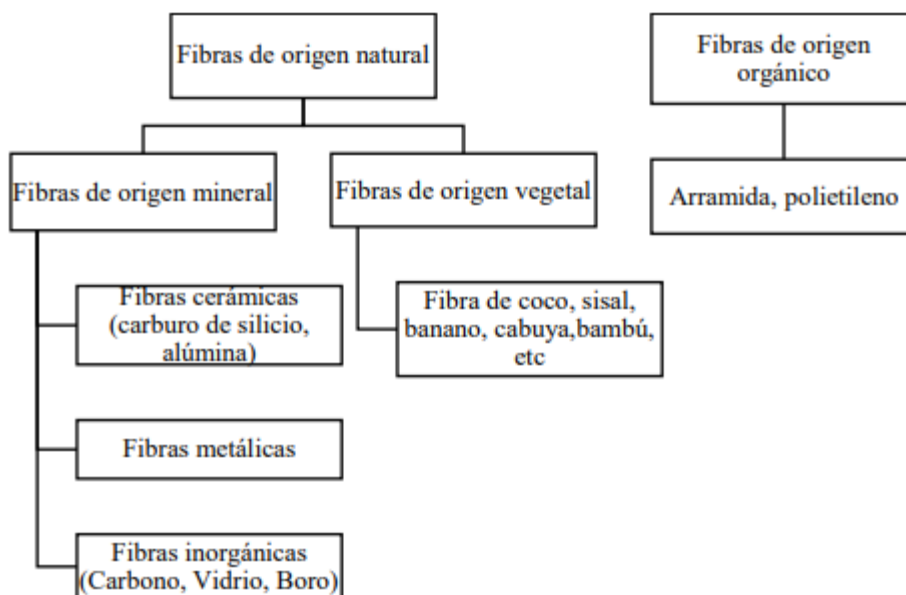


Figura 1.10. Clasificación según origen de fibras
(Flores, 2018)

En la figura 1.10 se muestra un mapa de clasificación para las diferentes fibras ya que es muy importante saber qué tipo se puede utilizar en los materiales compuestos.

1.11.3.1. Fibras Convencionales

Son las más accesibles y que se pueden encontrar en nuestro medio, la mayoría de estas fibras son usadas en la industria de fabricación de carrocerías.

El siguiente gráfico puede ver una recopilación de los materiales convencionales dentro de nuestro medio:

Tabla 1.1. Recopilación de fibras convencionales

Fibra	Módulo de elasticidad (GPa)	Resistencia (GPa)	Densidad (g/cm ³)	Deform. Rotura (%)
Fibras Orgánicas				
Kevlar 29	65	2.8	1.44	4.0
Kevlar 49	125	3.5	1.44	2.3
Kevlar 149	185	3.4	1.47	-
Fibras Inorgánicas				
Vidrio E	75	3.5	2.58	4
Vidrio S	90	4.5	2.46	-
Vidrio C	69	3.3	2.49	-
Boro	415	3.5	2.5-2.6	-
SiC	400	3.45	3	-
Al ₂ O ₃	350-380	1.7	3.7	-
Fibras textiles				
Poliéster (PET)	3-10	0.4-0.8	1.39	-
Nylon 66	1-5	0.3-0.8	1.14	-

Fuente: (Paredes, 2012)

En la tabla 1.1 se muestra las fibras más comunes en nuestro medio con sus propiedades mecánicas a la tracción.

1.11.3.2. Fibras Naturales

Las fibras naturales pueden ser obtenidos de los animales, las plantas o los minerales, pero las que más están arraigadas a su utilización en la industria en general son las fibras vegetales. Las propiedades mecánicas de las fibras vegetales dependen del tipo de celulosa ya que viene a ser el componente principal de la estructura de la fibra y la geometría de la celda elemental, brindando resistencia, rigidez y estabilidad para la fibra. Las moléculas de celulosa se agrupan en filas paralelas, por lo general tiene un diámetro aproximado entre 5 a 12 μm . Las microfibrillas se agrupan para formar macrofibrillas por medio de celulosas en corte transversal (Flores, 2018).

Tabla 1.2. Recopilación de fibras naturales

Fibra	Celulosa (% peso)	Hemicelulosa (%)	Lignina (% peso)
Lino	71.2	18-20	2.2
Cáñamo	70-75	17-22	3.7-5.7
Yute	61-75	13-20	8.1-13
Kenaf	45-57	21	8-13
Ramio	68-76	13-16	0.6-07
Ábaca	63-70	20-21	5-6
Sisal	67-78	10-14	8-14
Algodón	82-93	3-6	---
Bambú	35-61	15	27-32
Coco	32-43	0.11-0.25	40-45
Banana	35-61	15	27-32
Coco	32-43	0.15-0.25	40-45
Banana	63-64	10	5
Formio	71.3	--	--

Fuente: (Milla, 2018)

En la tabla 1.2 se presenta la relación de peso entre la celulosa, hemicelulosa y lignina que depende de las condiciones climáticas en donde se encuentren las fibras naturales, esto influye en su elasticidad.

1.12. Materiales Compuestos Reforzados Con Fibras

Son los materiales compuestos más comunes en el uso industrial por sus características. Según el Instituto Tecnológico del Plástico (AIMPLAS, 2016), argumenta que:

Los más empleados, por su ligereza y sus excelentes propiedades mecánicas, son los materiales compuestos de matriz polimérica con refuerzos en forma de fibras.

Estos están sustituyendo a otros materiales, principalmente a los metálicos, en aquellas aplicaciones en las que la relación ‘propiedades mecánicas – peso’ influye decisivamente en los costes de mantenimiento del producto. (Pag 1)

Cuando los materiales compuestos son reforzados con fibras tienden a cambiar sus propiedades mecánicas. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia y módulo específicos que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico (Moral et al, 2007).

1.13. Orientación de las Fibras

Según (Figal, 2011), estos materiales compuestos reforzados con fibras tienen algunos tipos:

- a) Fibras largas
- b) Fibras cortas orientadas
- c) Fibras cortas no orientadas

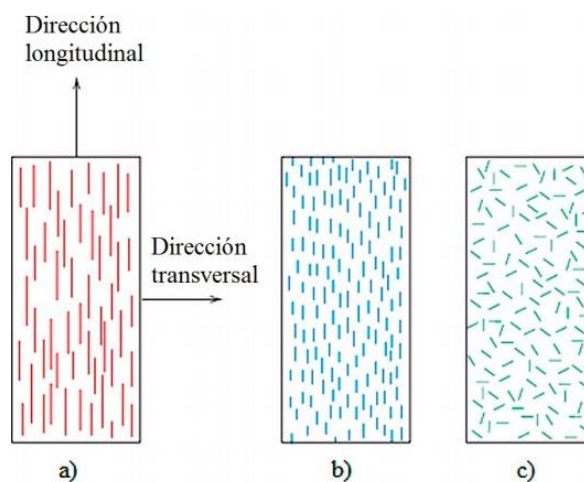


Figura 1.11. Orientación de las fibras
(Rocha et al., 2019)

En la figura 1.11 Se puede apreciar las orientaciones posibles del refuerzo, en este caso fibras que se ubican en diferentes planos y que influyen en el resultado final de los materiales compuestos, por ejemplo: en la sección a) se muestran fibras largas y ordenadas, en la sección b) son fibras cortas orientadas y la sección c) representa a las fibras cortas no orientadas.

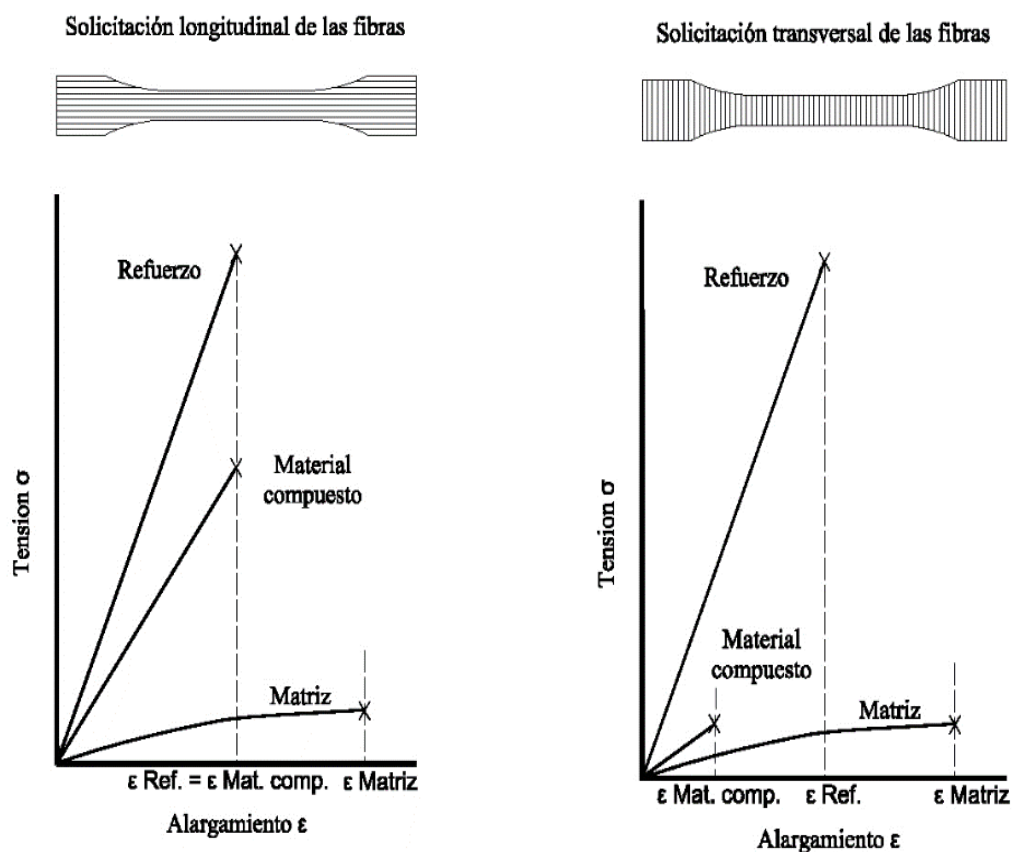


Figura 1.12. Efecto de orientación de refuerzos en un material compuesto (Dietrich, 2005)

En la figura 1.12 Se puede observar el comportamiento de la fibra de carbono en un ensayo a tracción, la diferente orientación del refuerzo (longitudinal y transversal), hace que en ambos casos la resistencia de la fibra disminuya pero a su vez la resistencia de la matriz aumente.

1.14. Influencia de la Longitud de la Fibra

Las propiedades de los materiales compuestos no solo se ven influenciadas por el tipo de fibra utilizada, también se toma en cuenta la distribución de la carga transmitida desde la matriz hacia la fibra. Es muy importante que la unión entre la matriz y la fibra estén seguras ya que por lo general las cargas son transmitidas por esfuerzos de corte.

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación como el

que se muestra en la Figura 1-3; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz (Moral et al, 2007).

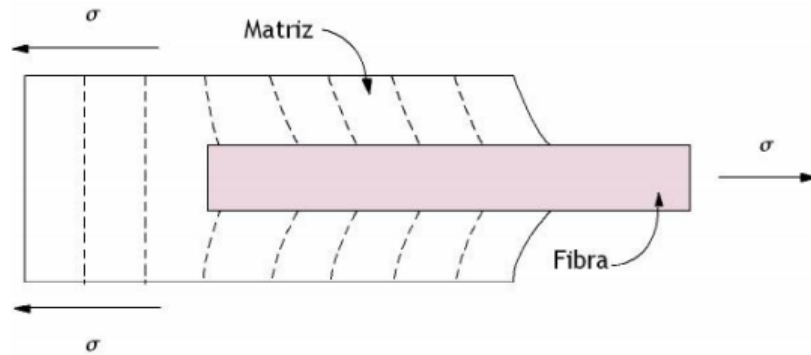


Figura 1.13. Transferencia de carga por esfuerzo cortante (Figura 1–3)
(Flores, 2018)

En la figura 1.13 se puede apreciar la distribución de las fuerzas ejercidas a un material compuesto, en este caso un esfuerzo cortante que pone en evidencia la deformación que se da en la matriz y la carga que se transmite a la fibra.

1.15. Modelado Del Material Compuesto

1.15.1. Estratificación por Compresión

Para el modelado de los materiales compuestos se utilizan técnicas, por ejemplo, la estratificación por compresión que, según Milla en su investigación nos asegura que: Este proceso utiliza moldes macho y hembra determinando la geometría y la estructura del elemento a construir. Ciertas cantidades de fibra y resina son ubicadas dentro del molde, al que se aplica presión hidráulica parcialmente alta, a la vez que se agrega calor y se logra la forma del molde al que fue expuesta para obtener la pieza (Milla, 2018).

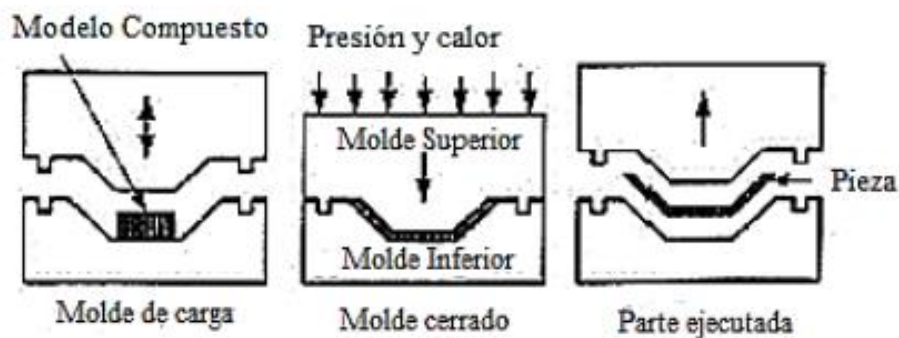


Figura 1.14. Esquema de moldeado por compresión
(Flores, 2018)

En la figura 1.14 se puede observar los pasos para lograr el moldeo de un material compuesto utilizando el método de compresión.

1.15.2. Estratificación Manual

La estratificación manual, también llamada hand lay-up, es la técnica más sencilla y antigua para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable. En el proceso de curado o reticulado se debe aportar un detonador que hace que la reacción se inicie y después un catalizador acelera el proceso. Es importante adicionar un detonador para desencadenar la reacción (Dávila et al., 2011).

A continuación, se detalla el proceso de estratificación manual:

1. Se utiliza en el molde un químico de desmolde con el fin de facilitar la extracción de la pieza.
2. Se utiliza gelcoat, que es una base acrílica, distribuyéndola uniformemente con un rodillo o brocha.
3. El gelcoat reacciona con la curación se procede a colocar capas de material, además se agrega resina catalizada sobre la capa de refuerzo para así con ayuda de una brocha impregnar el polímero, ya que debe salir el aire atrapado entre la matriz y refuerzo.
4. Se deja a temperatura ambiente y se espera hasta que se seque para posteriormente retirar el elemento del molde.

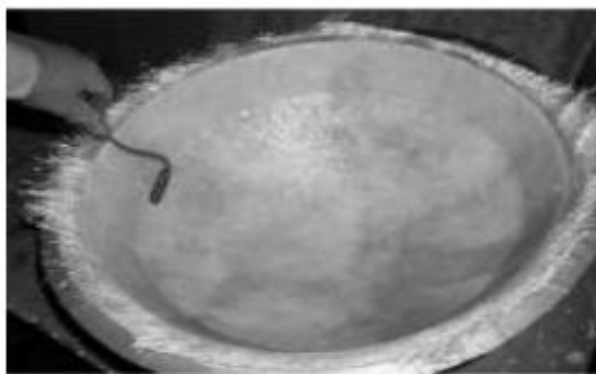


Figura 1.15. Esquema del moldeo por compresión
(Flores, 2018)

En la figura 1.15 Se puede apreciar el elemento compuesto en el molde y el proceso de propagación del reactivo con un rodillo para dar paso al proceso de curación.

1.16. Propiedades Mecánicas de los Materiales

Las propiedades de los materiales están ligados a los usos en la industria, se necesita caracterizar los compuestos para determinar comportamientos bajo influencias externas, en sus innumerables investigaciones, (Askeland, 1998) nos resume:

Las propiedades de los materiales son características que nos ayudan a analizar sus comportamientos. Dentro del tema de deformaciones es importante mencionar el módulo de elasticidad que es la variación entre la tensión aplicada y deformación elástica, aquí se aplica la ley de Hooke que nos menciona que la tensión de un material elástico es lineal y proporcional a la deformación, pero independiente del tiempo. El coeficiente de Poisson es la deformación perpendicular al eje de cualquier estructura, cuando la carga produce cambios en la estructura interna de algún material se le denomina límite plástico o plasticidad y cuando falla el material es llamado ductilidad. Los materiales también pueden absorber energía sin sufrir deformación permanente o plástica, a esto se le denomina resiliencia, pero también hay materiales que absorben energía y no se rompen, en este caso su propiedad es la tenacidad.

1.17. Esfuerzos

Se denomina esfuerzo a la suma de fuerzas que interactúan en un área interna de un cuerpo que está sometido a cargas y que actúa por unidad de superficie (área), es decir, es el cociente entre la fuerza y la superficie en la que se aplica.

Los esfuerzos pueden clasificarse en dos tipos principales: los que son perpendiculares a la superficie de aplicación y los que son paralelos a la misma, si la fuerza aplicada no fuese normal (perpendicular) ni paralela a la superficie, (Pirineos, 2014).

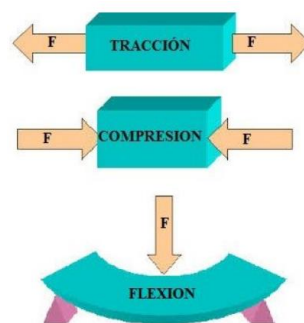


Figura 1.16. Diferentes tipos de esfuerzos
(Área Tecnológica, 2017)

En la figura 1.16 se puede observar los diferentes tipos de esfuerzos: tracción, compresión y flexión; aplicados en un material ya que en nuestro medio todos los objetos están sometidos a distintas cargas en función a su diseño.

Es importante analizar y determinar los esfuerzos que se presentan en elementos o estructuras para determinar sus características, tolerancias y deformaciones.

Los esfuerzos son el conjunto de fuerzas internas a las que está sometido un cuerpo a consecuencia de las sollicitaciones o acciones que actúan sobre él. Estas fuerzas internas son el resultado de la interacción de unas partículas del cuerpo sobre las otras (Galicia, 2014).

1.17.1. Tipos de Esfuerzos

1.17.1.1. Tracción

El esfuerzo de tracción se presenta en un cuerpo cuando las fuerzas que actúan en él tienen la misma dirección, pero diferente sentido y tienden a deformarlo o a estirarlo:

La tracción es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo. Se considera que las tensiones que tienen cualquier sección perpendicular a dichas fuerzas son normales a esa sección, produciendo un alargamiento sobre el eje X, y a su vez una disminución sobre los ejes Y y Z. Esto se conoce como módulo de Poisson (Federación de enseñanza de CC OO de Andalucía, 2011).

1.17.1.2. Compresión

El esfuerzo de tracción se da cuando un cuerpo está sometido a fuerzas que tienen la misma dirección, pero diferente sentido y que intentan contraerlo o presionarlo. Este esfuerzo hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir dichos aplastamientos. Con lo que podemos decir, que la compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada por obtener una reducción de volumen en una determinada dirección (Artaza & Olivos, 2021).

1.17.1.3. Flexión

El esfuerzo de flexión se produce al aplicar fuerzas perpendiculares al eje del elemento que tiende a deformarse. Es una combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. Las

fibras superiores comienzan a alargarse al aplicarse dicho esfuerzo, mientras que las inferiores se acortan, produciendo una deformación a lo largo de su eje, que tiendan a doblarlo. El rasgo más destacado ante la flexión se presenta una superficie llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. El esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector (Feijoo & Botina, 2019).

1.17.1.4. Torsión

La torsión es la reacción interna que se presenta cuando se aplica una fuerza en el eje longitudinal de un elemento mecánico, como pueden ser ejes o elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos. Dichas fuerzas son las que hacen que una pieza tienda a retorcerse sobre su eje central, dando lugar a tensiones cortantes. Están sometidos a esfuerzos de torsión los ejes, las manivelas y los cigüeñales (Chuqui & Fernandez, 2019).

1.18. Ensayo De Materiales

1.18.1. Definición

Los ensayos son pruebas que nos permiten determinar características únicas de los materiales y su comportamiento a la hora de aplicar los diferentes esfuerzos. Los ensayos físicos determinan la forma y dimensión de los cuerpos, como su densidad, humedad y peso específico, pero en los ensayos mecánicos se obtienen: la elasticidad, ductilidad, plasticidad, tenacidad y resistencia, etc.(Flores, 2018).

Existen normas para efectuar estos ensayos, su procedimiento esta descrito por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) y permite a los investigadores realizar caracterizaciones de materiales compuestos y otros materiales ya estudiados.

1.18.2. Ensayo de tracción

Ensayo estático que consiste en aplicar a la probeta, en dirección axial, un esfuerzo de tracción creciente, generalmente hasta la rotura, con el fin de determinar una o más de sus características mecánicas:

El ensayo a tracción es la forma de obtener el comportamiento mecánico sometidos a esfuerzo. El material para ensayar tiende a deformarse hasta tener una ruptura por la

aplicación de fuerza uniaxial a lo largo del eje principal que va aumentando de manera gradual en la probeta (Molina & Gaibor Chacha, 2017).

Para realizar este ensayo se debe tomar en cuenta la Normativa ASTM D3039-76 para el procedimiento a seguir en la máquina de ensayos y sobre las dimensiones de la probeta a analizar.

Al momento de realizar un ensayo de tracción el material a ensayar tiende a deformarse hasta tener una ruptura por la aplicación de fuerza uniaxial a lo largo del eje principal que va aumentando de manera gradual en la probeta (Experimental, 2017).

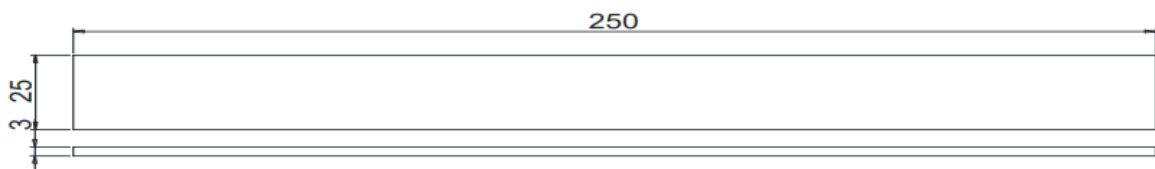


Figura 1.17. Diseño de la probeta para el ensayo de tracción
(Flores, 2018)

En la figura 1.17 se puede apreciar las medidas de las probetas para realizar el ensayo de tracción, basado en la norma D3039-76.

1.18.3. Ensayo de Flexión

El ensayo a Flexión se basa en el pandeo de un elemento estructural por efectos de carga en el eje perpendicular al axial. Este ensayo consta de cargar al elemento de forma rápida o prolongada para medir la capacidad resistente de la viga ante fuerzas que primordialmente están o van en la dirección de la gravedad:

Norma basada para el ensayo de flexión El ensayo a flexión de un material compuesto se realiza bajo la norma ASTM D7264/D7264M-07, el procedimiento es un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples, las dimensiones presentan en la Fig. 19 (Pacha, 2016).

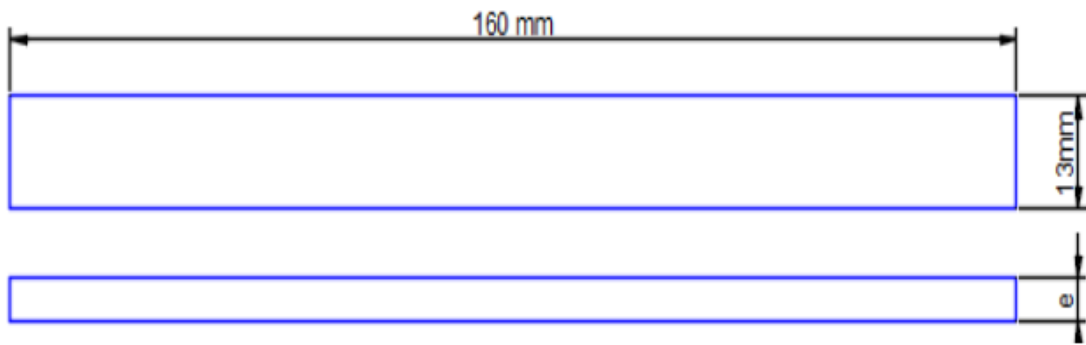


Figura 1.18. Diseño de la probeta para ensayo de flexión
(Nisbett, 2012)

En la figura 1.18 se puede apreciar las medidas de las probetas para realizar el ensayo de flexión basado en la norma ASTM D7264

1.18.4. Ensayo de Impacto

Consiste en realizar un impacto aplicando una fuerza externa a una probeta o cuerpo para analizar y conocer su tenacidad a la resistencia. Las propiedades que se adquieren del ensayo de impacto es la resistencia máxima de la misma conocido también como energía máxima a ruptura. Se puede calcular con la siguiente ecuación: $MEF = h \cdot w \cdot f$. (Pacha, 2016).

En el párrafo anterior se menciona una ecuación que hace referencia a las propiedades que resultan del ensayo de impacto, se detalla así:

$$MEF = h \cdot w \cdot f$$

Donde:

MEF: Resistencia máxima al impacto

h = Altura máxima de ruptura en mm

w = Masa máxima de ruptura en kg

$$f = \text{Factor de conversión igual a } 980665 \cdot 10^{-3}$$

1.19. Optimización de los Materiales

1.19.1. Optimización Topológica

Se relaciona con el análisis estructural de los materiales y tiene como objetivo principal modificar la geometría del diseño, pero manteniendo su topología que en otras palabras sería: crear huecos o cavidades en su interior con el fin de reducir material y peso, pero manteniendo su rigidez o resistencia.

Actualmente la reducción de peso se debe a criterios del diseñador, quien retira material de una manera casi empírica y comprueba si el resultado es aceptable por medio de análisis de resistencia mecánica (Valencia, 2012).

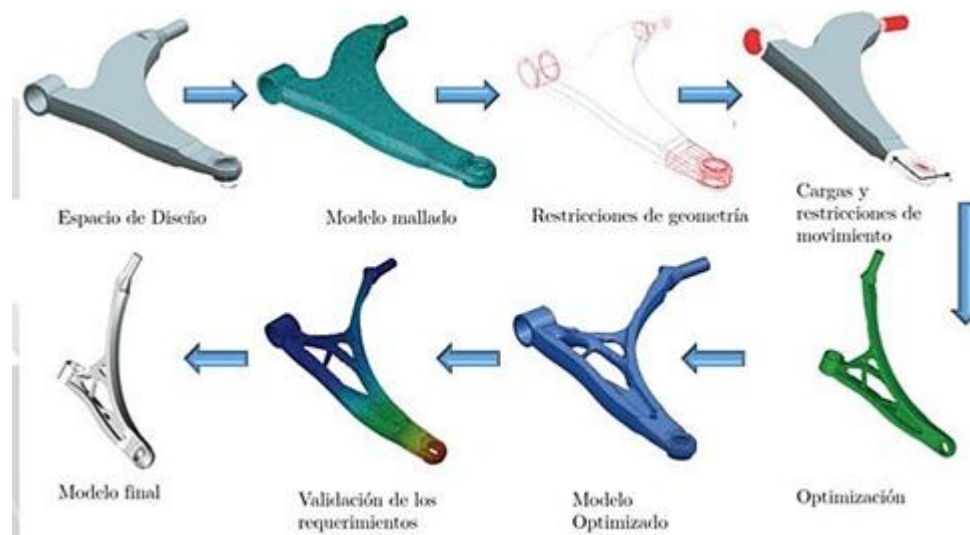


Figura 1.19. Proceso computarizado de optimización topológica (Leon-medina et al, 2018)

1.20. Recopilación de caracterización de Materiales Compuestos

En la tabla 1.1 se muestra una recopilación de las diferentes caracterizaciones de materiales compuestos que se han realizado en los últimos años, en el cual, se puede observar una amplia variedad de ensayos experimentales que se han venido realizando en investigaciones y proyectos; tanto en el interior y exterior de la Universidad, con la finalidad de tener un material con mejores propiedades mecánicas y poder determinar la variedad de aplicaciones que pueden ofrecer a nivel industrial.

Esta lista recopila las investigaciones en relación con la caracterización de materiales compuestos de los dos últimos años relacionados a la industria automotriz.

Tabla 1.3. Recopilación de caracterización de materiales compuestos de las diferentes investigaciones a nivel nacional.

N°	MATRIZ	REFUERZO	ESFUERZO MÁXIMO A TRACCIÓN (MPa)	ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMO AL IMPACTO (J)	FUENTE
1	Resina Epoxi (75%)	Fibra de cabuya (25%)	52,25	118,81	1,53	(Ponce, 2020)
	Resina Epoxi (60%)	Fibra de cabuya (40%)	63,70	118,73	1,31	
2	Resina Epoxi	Fibra de carbono bidireccional	488,55	524,98	-	(Quiroz & Castro, 2018)
	Resina Epoxi	Fibra de carbono unidireccional	923,28	683,2	-	
3	Resina Poliéster	Fibra de mocora	28	-	-	(Nicolalde, 2018)
4	Resina Poliéster Insaturada	Cascarilla de arroz	15,45	0,67	1,26	(Pérez et al, 2017)
5	Resina Poliéster (65%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (35%)	23,80	41,12	1,319	(Espín & Pazmiño, 2018)
	Resina Poliéster (65%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (35%)	33,41	73,49	1,265	
	Resina Poliéster (75%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (25%)	24,55	37,05	1,147	
	Resina Poliéster (75%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (25%)	30,64	34,65	0,971	
	Resina Poliéster (70%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (30%)	27,31	41,57	0,944	
	Resina Poliéster (70%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (30%)	32,53	53,84	0,980	
6	Propileno (Tamiz N°60)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 5%)	20,78	40,82	-	(Ortiz & Osorio, 2019)
	Propileno (Tamiz N°100)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 10%)	22,40	46,40	-	

Tabla 1.4. Recopilación de caracterización de materiales... (continuación)						
6	Propileno (Tamiz N°100)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 15%)	20,02	40,52	-	(Ortiz & Osorio, 2019)
7	Resina Epoxi (80%)	Fibra corta de propileno (20%)	21,75	40,25	2,49	(Toapanta, 2018)
	Resina Epoxi (80%)	Fibra larga de propileno (20%)	23,23	40,79	3,06	
	Resina Epoxi (75%)	Fibra corta de propileno (25%)	26,39	54,41	2,27	
	Resina Epoxi (70%)	Fibra larga de propileno (30%)	26,27	49,75	3,27	
8	Resina Epoxi (70%)	Fibra de vidrio, guadua y algodón (30%)	131,654	124,61	3,295	(Vaca & Mazón, 2018)
9	Elastomérica (20%)	Fibra de cabuya (80%)	10,78	-	-	(Machado, 2019)
10	Polímero	Polvo de bambú, nanoarcillas y polipropileno maleizado	30,43	51,89	14,41	(Tuárez & Correa, 2019)
11	Resina poliéster (70%)	Fibra de lana de oveja (30%)	22,31	39,47	1,62	(Espín & Espín, 2018)
	Resina poliéster (60%)	Fibra de lana de oveja (40%)	20,97	38,18	2,35	
12	Resina epoxi (40%)	Fibra de carbono (60%)	623,305	574,1	1,14	(Arroba & Telenchana, 2020)
	Resina epoxi (59%)	Fibra de aramida (41%)	365,173	188,022	1,02	
	Resina epoxi (50%)	Fibra de vidrio (50%)	243,635	198,374	1,02	
13	Resina Poliester (61%)	Fibra de Vidrio (30%)	90,68	154,34	1,70	(C. Castro & Freire, 2019)
14	Resina Poliester (70%)	Fibra de Cabello (30%)	28,472	66,24	1,371	(Espín & Reinoso, 2019)
15	Resina Poliester (70%)	Fibra de Tuna (30%)	10,94	24,98	2,42	(Espín & Vargas, 2018)
16	Resina Poliester (70%)	Fibra de cabuya (30%)	48,26	56,536	-	(Analuiza & Salán, 2019)
	Resina Poliester (70%)	Fibra de Plátano (30%)	28,454	50,067	-	

Fuente: Autores

1.21. Normas Euro NCAP

La Euro-NCAP es un programa hecho en Europa con la finalidad de valorar los niveles de seguridad del automóvil que se encuentran dentro del mercado actual. Esta valoración se

representa mediante un determinado número de estrellas, en donde la máxima valoración es de cinco estrellas elevando la confiabilidad del comprador al momento de buscar un vehículo. Los resultados que se obtiene de esta organización son tomados muy en cuenta por los grandes fabricantes automotrices para priorizar la seguridad tanto del conductor como del peatón y así poder mejorar el diseño del vehículo (Hello Insurance Group, 2021).

En la figura 1. nos indica las distintas simulaciones que realiza el programa al momento de un impacto del vehículo con un peatón, el cual en los programas de elementos finitos las partes del cuerpo son representados mediante cilindros de impacto.

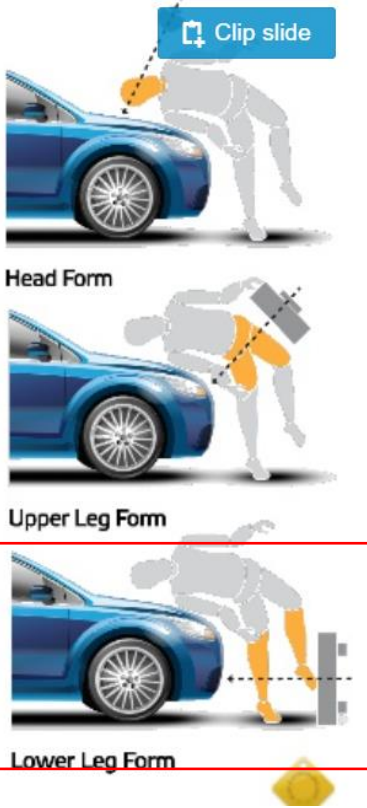
Crashworthiness for Pedestrians

Since the mid 1990s there has been a significant action to mitigate pedestrian injury during an impact with a passenger car.

Standards have been adopted in Japan, the European Union and in the United Nations (World Forum WP29- GTR No.9) to promote the design of softer and more forgiving car fronts.

Crash rating for pedestrian protection has also been strongly promoted notably by the European New Car Assessment Programme (Euro NCAP).

A series of tests replicate impacts involving child and adult pedestrians where impacts occur at 40kph (25mph). Impact sites are then assessed and the protection offered is rated as fair, marginal or poor.



GLOBAL NCAP

EURO NCAP

Figura 1.20. Resistencia a los choques para peatones donde se utilizará las referencias del recuadro seleccionado.
(EURO NCAP, 2018)

CAPITULO II

2. Métodos Y Materiales

2.1. Enfoque de Metodología

La metodología en el presente trabajo consiste en realizar una indagación de diversas caracterizaciones de materiales compuestos que contribuya para la investigación, de las cuales, se identificará fuentes claves para la elaboración del trabajo tanto en el proceso tecnológico como en el físico. Luego de la selección del material idóneo se planteará varias propuestas de diseño para obtener una mayor profundización a la investigación y se realizará un análisis por medio de elementos finitos; de tal manera que, al llegar a la parte de la fabricación de la pieza estructural automotriz, se puede realizar una correcta interpretación de la información de forma descriptiva y experimental.

2.1.1. Tipos de investigación

2.1.1.1. Bibliográfica

Este tipo de investigación fue importante para obtener información de diferentes referencias bibliográficas como: tesis, revistas, libros, artículos científicos, informes, catálogos, entre otros. De modo que sea información confiable y que contribuya con el desarrollo del tema de trabajo.

2.1.1.2. Tecnológico

Es de tipo tecnológico ya que para el desarrollo de la investigación se utilizará distintos programas de diseño mecánico y simulación; como son: ANSYS, LSDYNA y SOLIDWORKS (programas en versiones educativas). Para contribuir de la mejor forma al trabajo de investigación se tendrá en cuenta diversas herramientas tecnológicas necesarias tanto para la elaboración del modelado, la parte estructural y su análisis por medio de elementos finitos.

2.1.1.3. Experimental

Es de tipo experimental ya que, una vez fabricado la parte estructural automotriz, será sometido a ensayos destructivos, con el fin de poder determinar si los valores que se obtengan en los programas computacionales se aproximan al de los ensayos físicos.

2.1.1.4. Exploratoria

La investigación también es de tipo exploratoria ya que se realizó una búsqueda de información, acerca de maneras ideales de fabricación de la pieza estructural utilizando el material compuesto seleccionado. Además, indagar referencias adecuada relacionadas con el funcionamiento de los distintos programas de elementos finitos que se utilizaran en el trabajo de investigación.

2.1.1.5. Transversal

Esta investigación es de tipo transversal ya que se realiza en un tiempo establecido, se hace un corte con la realidad y permite obtener conclusiones o resultados de forma inmediata. Esto se realiza mediante el recopilatorio de datos de diferentes estudios elaborados con referencia a la caracterización de materiales compuestos dentro de la industria automotriz en un tiempo determinado lo que ayudará para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

2.1.2. Tipos de Métodos

2.1.2.1. Método Analítico

Mediante el método analítico se puede realizar una investigación de observación constante y minuciosa a cada etapa del proyecto, lo cual vendría a descomponerse en diferentes partes para facilitar su elaboración e ir cumpliendo el desarrollando de los objetivos planificados. De esta forma se puede determinar un análisis de cada proceso y resultado obtenido.

2.1.2.2. Método Deductivo–Inductivo

La aplicación de estos métodos se debe a las respectivas comprobaciones del desarrollo del trabajo de investigación con respecto a la problemática planteada. Además, el realizar el análisis concerniente de los resultados de la fabricación de la pieza mecánica obtenidos por los ensayos físicos experimentales y también de los valores conseguidos de los programas de simulación.

2.1.2.3. Método Descriptivo

El método descriptivo, dentro de la investigación, está relacionado con el proceso de describir y evaluar las distintas características que se vayan presentando en el desarrollo del

trabajo durante el tiempo de su elaboración. Esto con el fin de poner en conocimiento los resultados de la investigación mediante una correcta interpretación la información.

2.2. Materiales Y Equipos

Para el proceso de diseño, simulación y fabricación de los prototipos se utilizó herramienta computacional o software especializado con licencia educativa y también material como fibras y resinas comercializadas en nuestro medio con el propósito de agilizar el desarrollo y optimizar el procedimiento.

2.2.1. Equipos

A continuación, se detallan los equipos utilizados en el proceso del tema de estudio.

Tabla 2.1. Equipos utilizados

Numero	Detalle
1	Maquina Universal de Ensayos
1	Maquina Suelda C200i
1	Cortadora de tubos

Fuente: Autores

2.2.2. Herramientas

Las herramientas utilizadas son programas computacionales para el diseño y simulación de los prototipos.

Tabla 2.2. Herramientas utilizadas

Numero	Detalle
1	Solid Works (licencia educativa)
1	LS- DYNA (licencia educativa)
1	LS-PREPOST
1	ANSYS WORKBENCH BETA CAE (licencia educativa)

Fuente: Autores

2.2.3. Materiales

Los materiales utilizados para la construcción del prototipo son los detallados a continuación.

Tabla 2.3. Materiales utilizados

Cantidad	Detalle
6 kg	Fibra de cabuya
3 kg	Resina Epoxi
4	Tubos pvc ½ pulgada
4	Tubos galvanizados 1 ½ pulgada
1	Platina de metal de 60cmx40cm

Fuente: Autores

2.3. Proceso Metodológico

Para el proceso metodológico primero se seleccionó el material compuesto ideal mediante un cálculo de ponderación. Al mismo tiempo se tomó como objeto de análisis el bumper frontal que es un componente estructural importante del automóvil y que estará expuesto a esfuerzos con base al análisis anteriormente mencionado. Se diseñó varias propuestas optimizadas con el objetivo de elegir el mejor prototipo mediante una comparación de resistencia estructural en software CAE, luego con el modelo ideal seleccionado se realizó ensayos CAE más profundos que posteriormente fueron validados mediante un ensayo físico y comparados con la información computacional para comprobar la viabilidad de la investigación. Adicionalmente hay que mencionar que también se realizó una propuesta con materiales compuestos súper resistentes como la fibra de carbono que se usó en el modelo idóneo.

2.4. Proceso de selección del material compuesto ideal

Para realizar la selección del material, se tiene en cuenta el número de caracterizaciones de materiales de las investigaciones recopiladas de materiales compuestos para el proyecto de investigación, que se representa en la siguiente tabla:

Tabla 2.4. Alternativas de materiales compuestos

ALTERNATIVAS		
N°	MATRIZ	REFUERZO
I	Resina Epoxi (75%)	Fibra de cabuya (25%)
II	Resina Epoxi (60%)	Fibra de cabuya (40%)
III	Resina Epoxi	Fibra de carbono bidireccional
IV	Resina Epoxi	Fibra de carbono unidireccional
V	Resina Poliéster	Fibra de mocora
VI	Resina Poliéster Insaturada	Cascarilla de arroz
VII	Resina Poliéster (65%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (35%)
VIII	Resina Poliéster (65%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (35%)
IX	Resina Poliéster (75%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (25%)
X	Resina Poliéster (75%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (25%)
XI	Resina Poliéster (70%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (30%)
XII	Resina Poliéster (70%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (30%)
XIII	Propileno (Tamiz N°60)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 5%)
XIV	Propileno (Tamiz N°100)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 10%)
XV	Propileno (Tamiz N°100)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 15%)
XVI	Resina Epoxi (80%)	Fibra corta de propileno (20%)
XVII	Resina Epoxi (80%)	Fibra larga de propileno (20%)
XVIII	Resina Epoxi (75%)	Fibra corta de propileno (25%)
XIX	Resina Epoxi (70%)	Fibra larga de propileno (30%)
XX	Resina Epoxi (70%)	Fibra de vidrio, guadua y algodón (30%)
XXI	Elastomérica (20%)	Fibra de cabuya (80%)
XXII	Polímero	Polvo de bambú, nanoarcillas y polipropileno maleizado
XXIII	Resina poliéster (70%)	Fibra de lana de oveja (30%)
	Resina poliéster (60%)	Fibra de lana de oveja (40%)

XXIV	Resina epoxi (40%)	Fibra de carbono (60%)
XXV	Resina epoxi (59%)	Fibra de aramida (41%)
XXVI	Resina epoxi (50%)	Fibra de vidrio (50%)
XXVII	Resina Poliester (61%)	Fibra de Vidrio (30%)
XXVIII	Resina Poliester (70%)	Fibra de Cabello (30%)
XXIX	Resina Poliester (70%)	Fibra de Tuna (30%)
XXX	Resina Poliester (70%)	Fibra de cabuya (30%)
XXXI	Resina Poliester (70%)	Fibra de plátano (30%)

Fuente: Autores

Para estas alternativas se debe establecer distintas opciones de selección, en las cuales, deben ser factores determinantes ideales para la fabricación de la pieza estructural de la investigación.

El factor principal que se ha determinado es el costo de fabricación, en el que tendrá una relevancia porcentual del 35%. De las distintas caracterizaciones que tenemos en la investigación, otro factor a evaluar sería los valores de esfuerzos obtenidos en los diferentes ensayos a los que se han sometido, los cuales tendrá una relevancia del 25%, el siguiente factor importante que se ha considerado es la disponibilidad del material para la fabricación con un valor del 25% y finalmente se ha tenido en cuenta los inconvenientes que puede presentar el material compuesto al momento de ser fabricado con el diseño de la investigación, por tal razón, representaría el 15%.

Tabla 2.6. Factores para seleccionar el material compuesto

FACTORES		Porcentaje para evaluar
A	Bajo costo para la fabricación	35%
B	Valores de esfuerzos del material	25%
C	Disponibilidad del material en el mercado	25%
D	Dificultad para el diseño	15%
TOTAL		100%

Fuente: Autores

El método que se utiliza es conocido como selección de opciones por multiplicación de matrices, el cual, es muy ideal aplicar para la selección del material compuesto al contar con varias alternativas. En la siguiente tabla 2.6, se indica el rango de calificación que se tendrá en cuenta al momento de evaluar cada alternativa con los distintos factores para la selección del material.

Tabla 2.7. Rango de calificación

Calificación	
Malo	1 a 3
Regular	4 a 6
Muy Bueno	7 a 9
Excelente	10

Fuente: Autores

Por medio de estos datos se puede evaluar cada material en referente a los distintos factores para su selección, tomando en cuenta el rango de calificación para poder obtener valores determinantes y obtener la respectiva ponderación.

Tabla 2.8. Calificación con los distintos factores

Alternativas	Factores de selección			
	A	B	C	D
I	9	6	9	8
II	9	6	9	8
III	7	8	7	7
IV	7	8	7	7
V	6	5	6	8
VI	6	5	6	7
VII	7	5	6	7
VIII	7	5	6	7
IX	7	5	6	7
X	7	5	6	7
XI	7	5	6	7
XII	7	5	6	7
XIII	6	5	6	7
XIV	6	10	6	7
XV	6	7	6	7
XVI	5	7	7	8
XVII	5	5	7	8
XVIII	5	5	7	8
XIX	5	5	7	8
XX	6	7	5	7
XXI	8	3	9	8
XXII	6	5	6	8
XXIII	7	5	6	8
XXIV	6	5	7	9
XXV	5	5	5	9
XXVI	8	5	8	8
XXVII	8	7	8	8
XXVIII	8	5	7	7
XXIX	8	5	7	7
XXX	8	5	9	8
XXXI	6	5	6	7
TOTAL	208	174	209	234

Fuente: Autores

Para obtener el puntaje correspondiente, primero se asume los valores en cada factor de selección, se suman en un total todos estos valores y se saca un valor unitario con respecto a cada valoración, obteniendo la siguiente tabla 2.8:

Tabla 2.9. Resultados de la división para obtener el valor unitario.

Alternativas	Factores de selección			
	A	B	C	D
I	0,0433	0,0345	0,0431	0,0342
II	0,0433	0,0345	0,0431	0,0342
III	0,0337	0,0460	0,0335	0,0299
IV	0,0337	0,0460	0,0335	0,0299
V	0,0288	0,0287	0,0287	0,0342
VI	0,0288	0,0287	0,0287	0,0299
VII	0,0337	0,0287	0,0287	0,0299
VIII	0,0337	0,0287	0,0287	0,0299
IX	0,0337	0,0287	0,0287	0,0299
X	0,0337	0,0287	0,0287	0,0299
XI	0,0337	0,0287	0,0287	0,0299
XII	0,0337	0,0287	0,0287	0,0299
XIII	0,0288	0,0287	0,0287	0,0299
XIV	0,0288	0,0575	0,0287	0,0299
XV	0,0288	0,0402	0,0287	0,0299
XVI	0,0240	0,0402	0,0335	0,0342
XVII	0,0240	0,0287	0,0335	0,0342
XVIII	0,0240	0,0287	0,0335	0,0342
XIX	0,0240	0,0287	0,0335	0,0342
XX	0,0288	0,0402	0,0239	0,0299
XXI	0,0385	0,0172	0,0431	0,0342
XXII	0,0288	0,0287	0,0287	0,0342
XXIII	0,0337	0,0287	0,0287	0,0342
XXIV	0,0288	0,0287	0,0335	0,0385
XXV	0,0240	0,0287	0,0239	0,0385
XXVI	0,0385	0,0287	0,0383	0,0342
XXVII	0,0385	0,0402	0,0383	0,0342
XXVIII	0,0385	0,0287	0,0335	0,0299
XXIX	0,0385	0,0287	0,0335	0,0299
XXX	0,0385	0,0287	0,0431	0,0342
XXXI	0,0288	0,0287	0,0287	0,0299
TOTAL	1	1	1	1

Fuente: Autores

Para obtener los resultados de la tabla 2.10 se debe tener en cuenta el porcentaje de cada factor dado y multiplicarlo por cada valor de la tabla anterior. Aquí un ejemplo de la operación a realizó:

Tabla 2.10. Operación previa a la sumatoria

Alternativa	Factor de selección			
	A (35%)	B (25%)	C (25%)	D (15%)
I	0,0433x35%	0,0345x25%	0,0431x25%	0,0342x15%
Resultado	0,0151	0,0086	0,0108	0,0051

Fuente: Autores

Con la operación anterior se realizó el mismo proceso para todas las alternativas dando como resultado los siguientes valores de la tabla 2.10. Adicional al resultado de la sumatoria de los factores con respecto a cada alternativa se le realiza una multiplicación por cien para conocer el valor más alto de las diferentes alternativas y ese será el material compuesto que se utilizará en la investigación.

Tabla 2.11. Resultados de la selección de material compuesto

Alternativas	Factores de selección				Puntaje total (%)
	A	B	C	D	
I	0,0151	0,0086	0,0108	0,0051	4,0
II	0,0151	0,0086	0,0108	0,0051	4,0
III	0,0118	0,0115	0,0084	0,0045	3,6
IV	0,0118	0,0115	0,0084	0,0045	3,6
V	0,0101	0,0072	0,0072	0,0051	3,0
VI	0,0101	0,0072	0,0072	0,0045	2,9
VII	0,0118	0,0072	0,0072	0,0045	3,1
VIII	0,0118	0,0072	0,0072	0,0045	3,1
IX	0,0118	0,0072	0,0072	0,0045	3,1
X	0,0118	0,0072	0,0072	0,0045	3,1
XI	0,0118	0,0072	0,0072	0,0045	3,1
XII	0,0118	0,0072	0,0072	0,0045	3,1
XIII	0,0101	0,0072	0,0072	0,0045	2,9
XIV	0,0101	0,0144	0,0072	0,0045	3,6
XV	0,0101	0,0101	0,0072	0,0045	3,2
XVI	0,0084	0,0101	0,0084	0,0051	3,2
XVII	0,0084	0,0072	0,0084	0,0051	2,9
XVIII	0,0084	0,0072	0,0084	0,0051	2,9
XIX	0,0084	0,0072	0,0084	0,0051	2,9
XX	0,0101	0,0101	0,0060	0,0045	3,1
XXI	0,0135	0,0043	0,0108	0,0051	3,4
XXII	0,0101	0,0072	0,0072	0,0051	3,0
XXIII	0,0118	0,0072	0,0072	0,0051	3,1
XXIV	0,0101	0,0072	0,0084	0,0058	3,1
XXV	0,0084	0,0072	0,0060	0,0058	2,7
XXVI	0,0135	0,0072	0,0096	0,0051	3,5
XXVII	0,0135	0,0101	0,0096	0,0051	3,8
XXVIII	0,0135	0,0072	0,0084	0,0045	3,4
XXIX	0,0135	0,0072	0,0084	0,0045	3,4
XXX	0,0135	0,0072	0,0108	0,0051	3,7
XXXI	0,0101	0,0072	0,0072	0,0045	2,9
TOTAL					100,0

Fuente: Autores

En este caso el índice más elevado fue el de la caracterización de “Resina epoxi con fibra de cabuya”. En la siguiente tabla se detalla las propiedades del material con el que se va a trabajar en la investigación.

Tabla 2.12. Propiedades mecánicas del material compuesto con cabuya y resina

PROPIEDAD MECÁNICA	DESCRIPCIÓN
Densidad de masa	2.6e-9 TON/mm ³
Módulo de elasticidad	1550 MPa
Radio de Poisson	0.19
Resistencia a la tracción	63,70 MPa

Fuente: (Ponce, 2020)

Hay que aclarar que también se planteó una propuesta con material compuesto super resistente, en este caso la fibra de carbono, ya que como se puede apreciar en la tabla 1.3 este material contiene mejores propiedades mecánicas con relación a los demás materiales con fibras naturales, por lo tanto, se tomó en cuenta en la investigación, pero solo se utilizará para fines comparativos en el análisis de elementos finitos.

Aquí se detalla las propiedades de la segunda propuesta de material compuesto, esta vez con fibra de carbono.

Tabla 2.13. Propiedades mecánicas de la fibra de carbono

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Densidad de masa	RO	2e-9 TON/mm ³
Módulo de Young dirección longitudinal	EA	1.65e5 MPa
Módulo de Young dirección transversal	EB	8400 MPa
Módulo de Young dirección normal	EC	8400 MPa
Radio de Poisson ba.	PRBA	0.017
Radio de Poisson ca.	PRCA	
Módulo de Young dirección normal Radio de Poisson cb	PRCB	
Módulo cortante ab	GAB	5600 MPa
Módulo cortante bc	GBC	5600 MPa
Módulo cortante ca	GCA	5600 MPa
Módulo Volumétrico de falla del material	KF	2000 MPa
Resistencia de compresión longitudinal	XC	1590 MPa
Resistencia de tensión longitudinal	XT	2560 MPa
Resistencia de compresión transversal eje b	YC	185 MPa
Resistencia de tracción transversal eje b	YT	73 MPa
Resistencia cortante plano ab	SC	90 MPa

Fuente: (López Menéndez, 2015)

2.5. Análisis y Modelado del Bumper Original

Como modelo base para el análisis se utilizó el diseño de un vehículo sedan marca Toyota modelo Yaris, se importó un modelado matemático ya existente y que se realizó mediante el programa LS-Dyna, este archivo tiene una extensión “.key” y se obtuvo de la página NHTSA

(National Highway Traffic Safety Administration) que es una biblioteca virtual con numerosos archivos de vehículos ya modelados, todo esto con el fin obtener el modelo conjuntamente con las dimensiones reales que servirán para modificar su geometría y continuar con el análisis.

Para empezar el análisis se procedió a separar el bumper o estructura que atenúa los impactos del vehículo mediante el software con el fin del aislarlo y obtener un archivo que podamos importar o exportar, este modelo servirá para tomarlo como referencia en el proceso de optimización y triangulación de los prototipos.

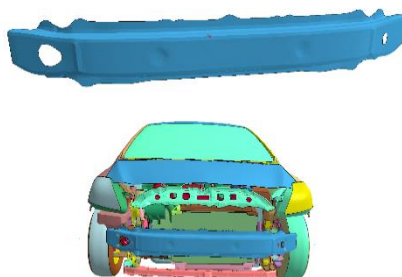


Figura 2.1. Diseño original de bumper aislado del vehículo Toyota Yaris, dimensiones del bumper: longitud 1195 mm, ancho 187 mm y profundidad 42 mm
(Biblioteca de diseños. NHTSA)

A continuación, se detalla un cuadro informativo donde se encuentran las propiedades del bumper original.

Tabla 2.14. Propiedades mecánicas del bumper correspondiente a un Toyota Yaris

PROPIEDAD MECÁNICA	DESCRIPCIÓN
Densidad de masa	7.89e-9 Ton/mm ³
Módulo de elasticidad	2e5 MPa
Radio de Poisson	0.3
Límite de fluencia	800 MPa
Resistencia a la tracción	1550 MPa
Deformación unitaria máxima	0.094 mm/mm

Fuente: (Toyota, 2018)

La figura siguiente corresponde a la curva de esfuerzo-deformación del bumper original que puede ser observada en el programa LS-Dyna:

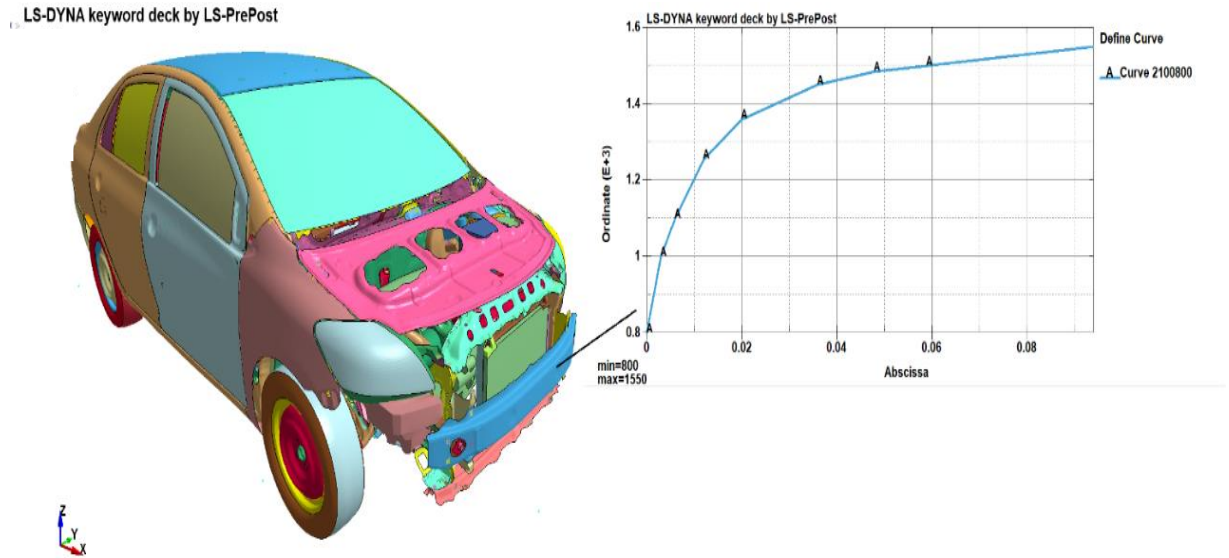


Figura 2.2. Curva de esfuerzo (Mpa) vs deformación (mm/mm) del bumper de automovil Toyota Yaris (Biblioteca de diseños. NHTSA)

En la figura 2.2 se observa en la curva esfuerzo máximo de 1550 MPa y una deformación de 0.06 mm/mm que representa el límite de fluencia del bumper original. Estos valores serán de utilidad conforme se vaya elaborando el trabajo de investigación para fines comparativos ante los otros materiales.

A continuación, en la siguiente imagen se puede evidenciar las propiedades del material original ingresados en el software.

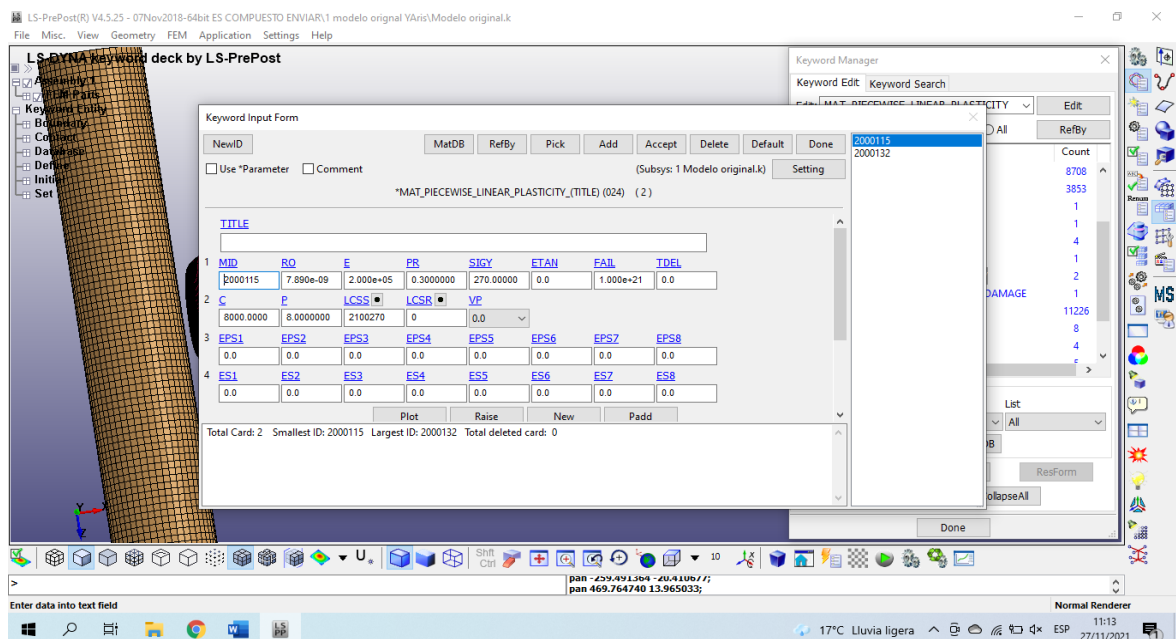


Figura 2.3. Carta de control del material original (Autores)

El modelo de atenuador que se usó está representado en una malla de tipo Shell y para modificarlo y modelarlo en un programa CAD, se transformó la malla Shell a una superficie utilizando el programa LSPREPOST, una vez realizado este procedimiento se exportó con extensión “IGES”. Con el archivo “IGES” se importó al programa Solidworks por lo que se obtuvo una base para modelar diferentes tipos de atenuadores y analizarlos, finalmente se reconstruyó el modelo del atenuador con base en el archivo importado.

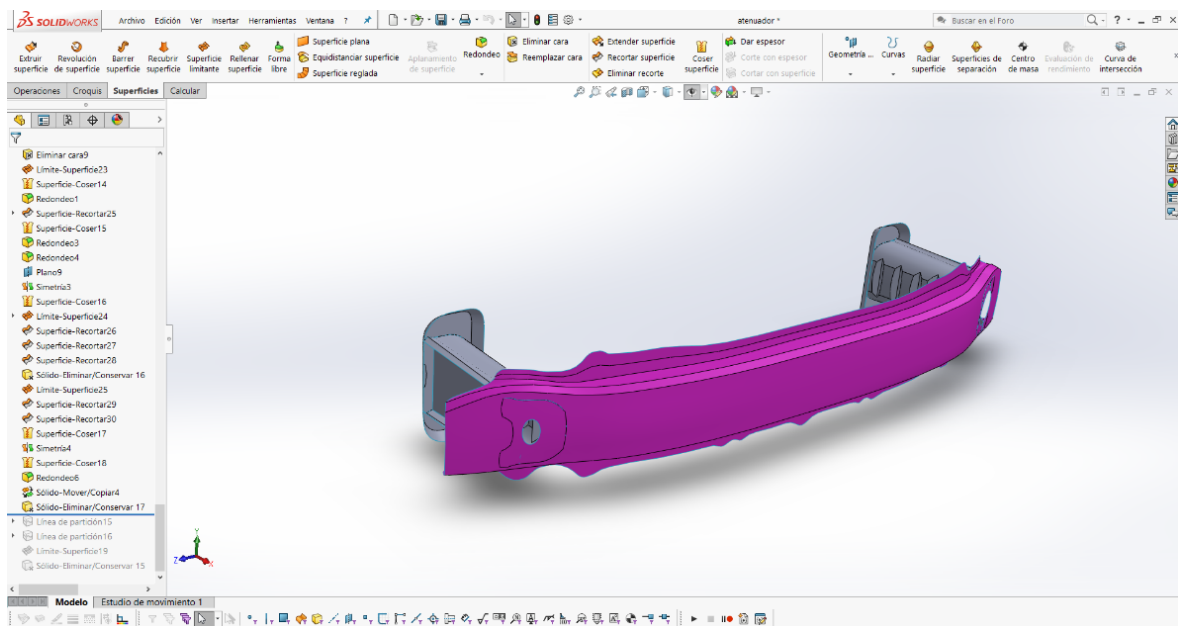


Figura 2.4. Modelo del atenuador o bumper renderizado en superficies.

Fuente: Autores

2.5.1. Cilindro de Impacto

Las simulaciones que están previstas realizar en la investigación se basó en un impacto de atropellamiento según los requisitos de las regulaciones de ensayos para evaluar la seguridad en peatones al ser atropellados por vehículos, se realizó un impacto con un cilindro de 150 mm con una densidad de $4.012e-08 \text{ TON/mm}^3$ y un espesor de 2 mm para tener una masa del componente con un peso de 30 Kg que representa la pierna de una persona, la misma que se impactó dentro de un rango de 0 a 40 Km/h (EURO NCAP, 2018) que se probaron en los 3 diseños propuestos. Las unidades de medida se adaptan a las presentes para el software LS-Dyna.

2.5.2. Características del cilindro de impacto

En las características del cilindro se encuentran la masa de 0.03 Ton, centro de gravedad repartidos en el eje y, x y z.

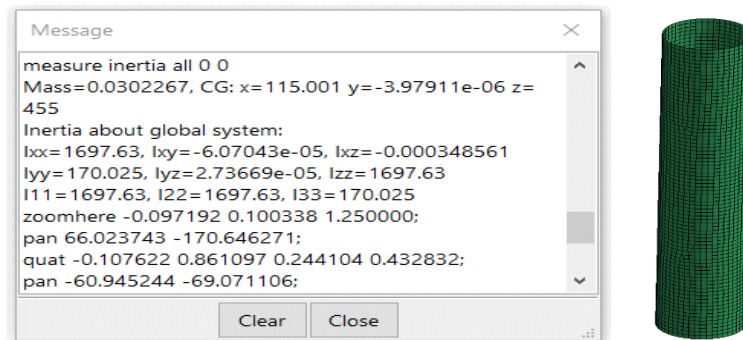


Figura 2.5. Características del cilindro de impacto
(Autores)

2.6. Optimización Del Bumper Original

Se realizó una optimización topológica del diseño original por medio del programa ANSYS WORCHBENCH BETA CAE con el objetivo de reducir el peso del componente y mantener las propiedades de resistencia de la estructura. Para realizar la optimización se realizó un modelo sólido simplificado de la cara externa del atenuador utilizando el programa solidworks, se exportó el modelo con extensión “parasolid” o “.x_t” y se importó a la interfaz de Workbench de Ansys.

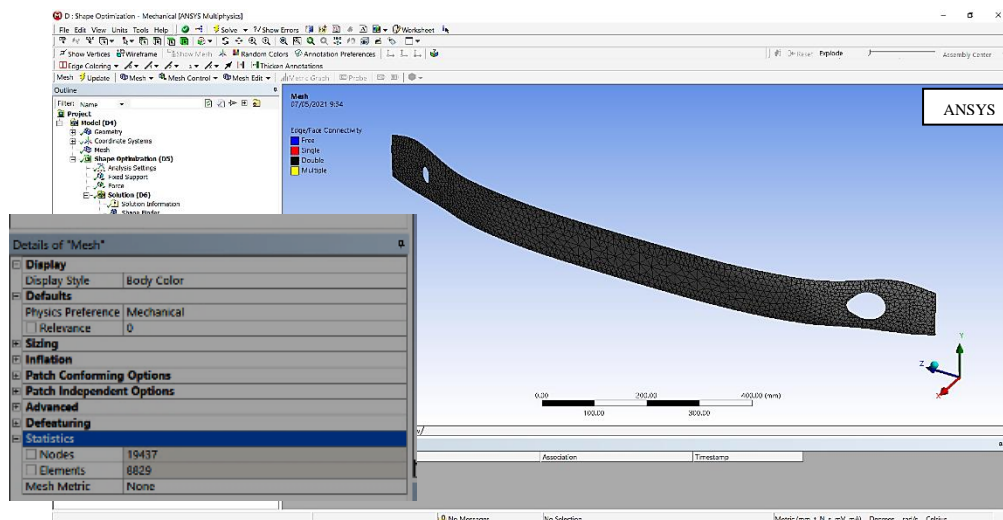


Figura 2.6. Malla de tipo “solid” tetraédrica con 19437 nodos y 8829 elementos
(Autores)

Luego de obtener se importó el modelo hacia el módulo de optimización topológica llamado “shape optimization” de Ansys, en el mismo se generó una malla de tipo “solid”, se asignó

la restricción en los soportes que unen el atenuador con los parantes del bastidor del auto y se utilizó una carga de 1000 N que representa una cifra estimada basada en un impacto frontal de un vehículo que tiene una masa de 1000kg con una desaceleración de 1 m/s (INTEF, 2018), aplicada en el área de contacto con el objetivo de observar el comportamiento del bumper en su fase pre-optimización.

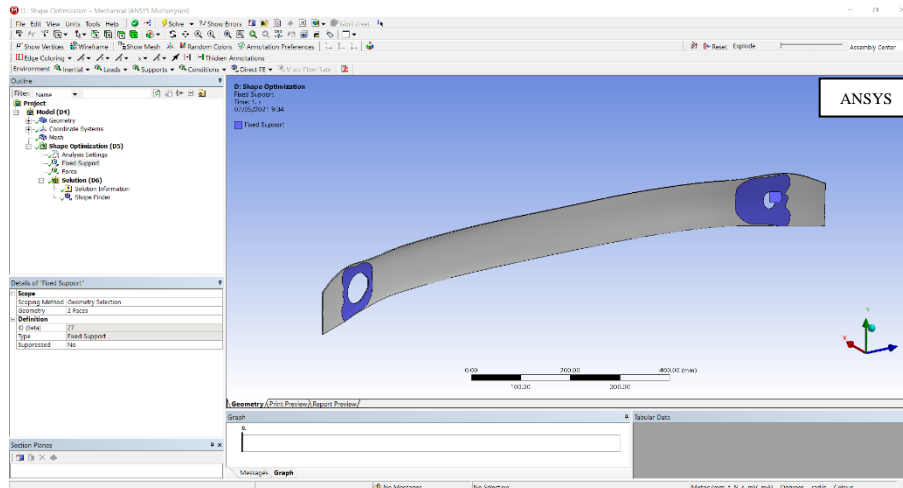


Figura 2.7. Asignación de soportes fijos en las uniones de los parantes del bastidor (Autores)

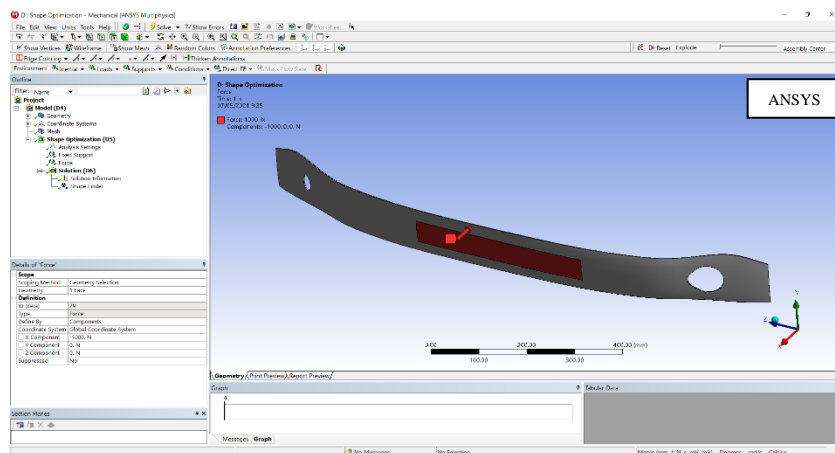


Figura 2.8. Asignación de la carga de impacto (Autores)

Una vez asignado los parámetros y gracias al software de optimización se obtuvieron resultados mostrados en la siguiente figura:

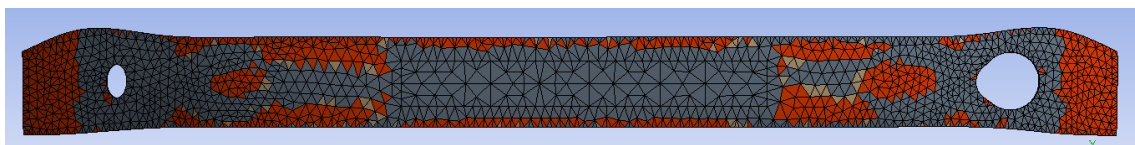


Figura 2.9. Optimización topológica de parte frontal de bumper (Autores)

En la figura 2.9 se muestra en color gris las partes que se mantienen en el modelo y las partes de color naranja corresponden a las zonas que se eliminarán. Esta optimización servirá más adelante como base para una estructura de nervaduras.

Para el proceso de reducción del material en el cuerpo del bumper se optó por utilizar una estructura de nervaduras que a su vez se optimizó de la misma manera que el plano frontal, pero esta vez se realizó desde una vista superior. Para la triangulación de elementos el software ubicó los elementos estructurales de tipo redondo en los lugares estratégicos para soportar esfuerzos. Los resultados se detallan a continuación.

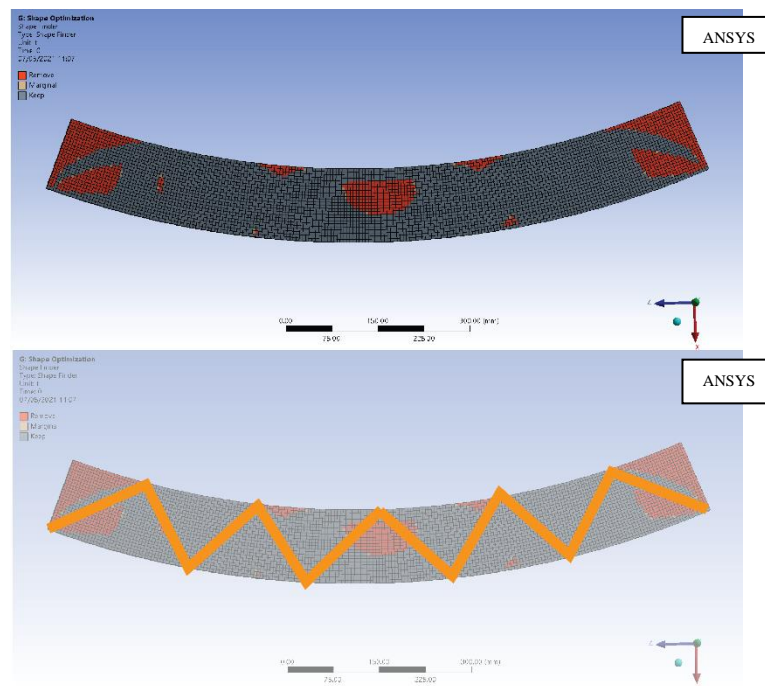


Figura 2.10. Triangulación para unir el atenuador con la base optimizada (Autores)

Luego de optimizar el cuerpo del bumper, se modeló la base que se optimizó anteriormente y que se ensambló a la estructura de tipo nervadura. Todo el proceso está relacionado con la optimización topológica completa y para unir estas dos optimizaciones se utilizó un ensamble hecho en el programa Solidworks, posteriormente se modeló las nervaduras utilizando conceptos orgánicos con una apropiada triangulación entre elementos gracias a la ayuda del software.

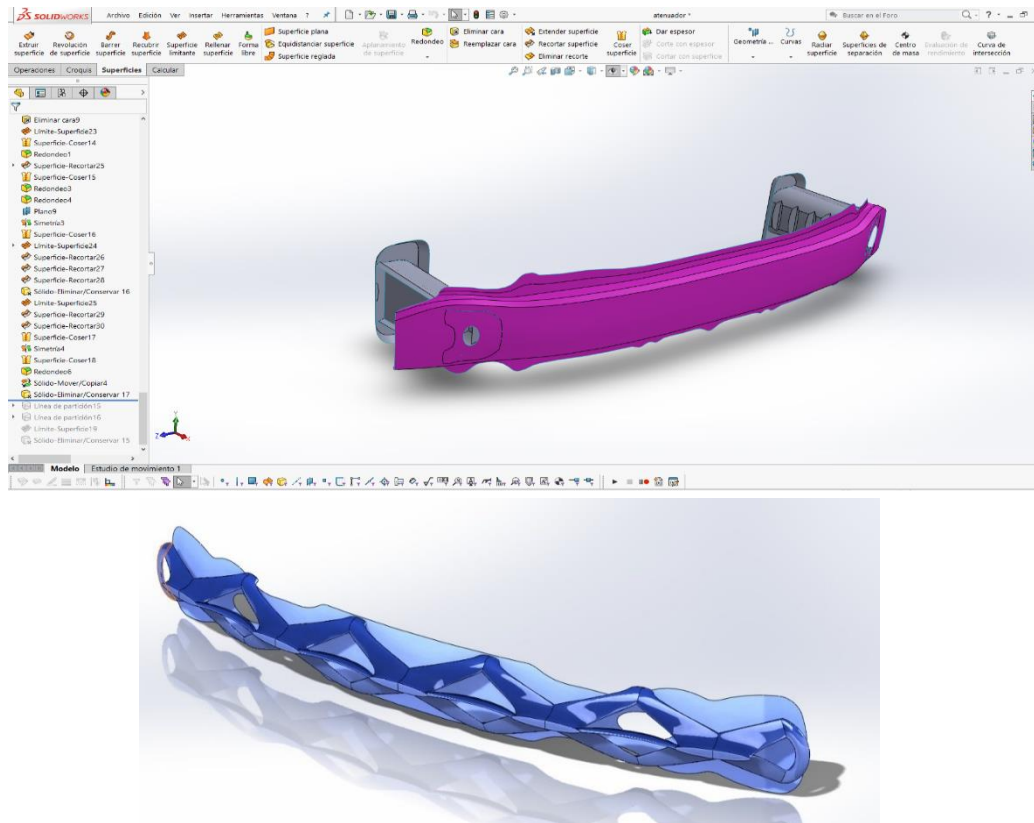


Figura 2.11. Modelo preliminar con nervaduras y optimizado del bumper (Autores)

En la figura 2.11 se muestra un modelo preliminar que se usará como base para los demás prototipos, se puede apreciar su configuración de nervaduras y la reducción de material que será esencial para el análisis posterior.

2.7. Proceso De Selección Del Prototipo

2.7.1. Diseño de Varios Prototipos

A. Aplicación Del Material Compuesto

Una vez que se obtuvo el área optimizada del modelo estudiado se aplicó en el software LSDYNA el material compuesto seleccionado con anterioridad como se puede apreciar en la figura 2.12:

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 Prueba 5 mat 24.k) Setting

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (2)

TITLE
Material Fibra de Cabuya

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
	2000118	2.600e-09	1550.0000	0.1900000	0.0080000	0.0	0.0080000	0.0

2	C	P	LCSS	LCSR	VP
	0.0	0.0	2100271	0	0.0

3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Plot Raise New Padd

SIGY:=Yield stress;

2000115
2000118 Material Fibra de C

Figura 2.12. Carta de control de material de fibra de cabuya (Autores)

Como se puede ver en el software se necesita aplicar las propiedades mecánicas de la fibra de cabuya y resina epoxi como es: RO que representa una densidad de $2.6e-9T/mm$, E que es el módulo de elasticidad de 1550 MPa, PR es el radio de Poison de 0.19 y Sy que vendría a ser el límite de fluencia de 0.008MPa.

B. Código para la asignación del Material Compuesto y la Dirección de las Capas

Para la asignación y la orientación del material compuesto también se utilizó dos grupos de códigos, estos son:

B.1 Dirección De La Fibra

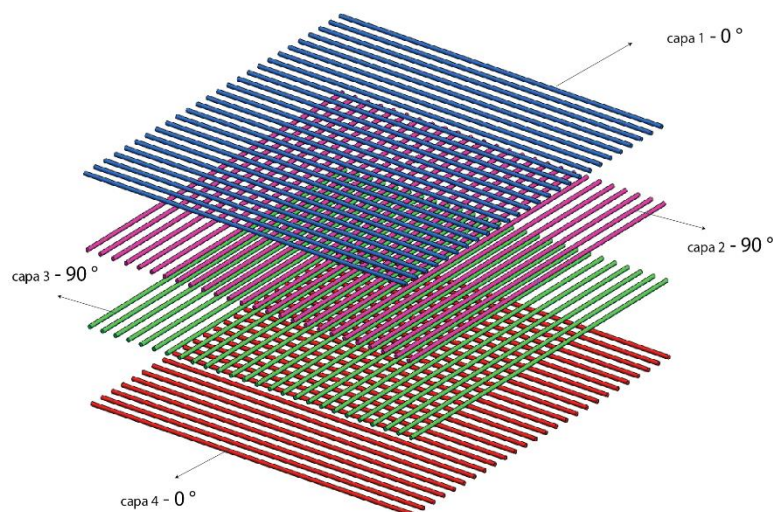


Figura 2.13. Orientación de las fibras en el programa LS-Dyna (Autores)

A continuación, en la Fig.2.14 se ingresa al programa la orientación de las fibras del material compuesto utilizado en la investigación.

Figura 2.14. Orientación de las fibras en el programa LS–Dyna (Autores)

B.2 Asignación Del Material Compuesto

A continuación, en la Fig. 2.15 se encuentra la asignación de las propiedades del material compuesto. Por medio de esta asignación en el programa se realiza para aceptar la configuración de los materiales y se puede realizar la simulación.

Figura 2.15. Orientaciones de las fibras en el programa LS–Dyna (Autores)

C. Configuración de los diferentes prototipos

Luego se propuso tres tipos de diseños con configuraciones triangulares orgánicas de fácil construcción, como se indica a continuación, se detalla los modelos de bumpers desarrollados para este estudio:

C.1 Prototipo A

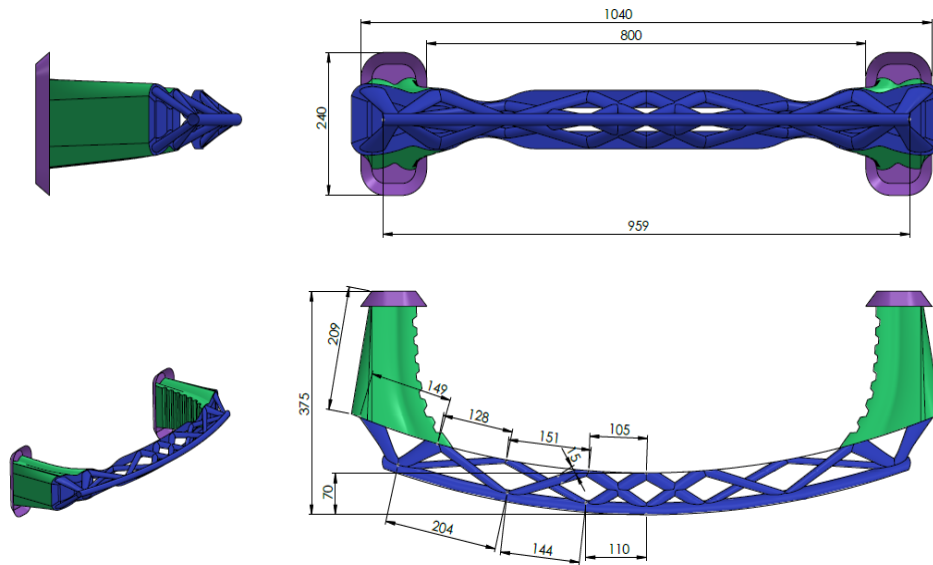


Figura 2.16. Dimensiones generales prototipo A
(Autores)

C.2 Prototipo B

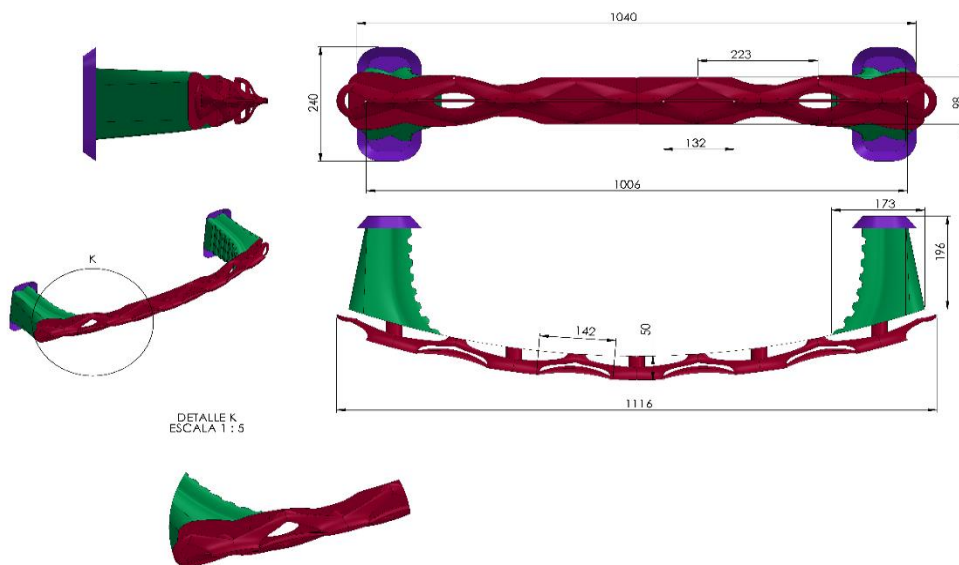


Figura 2.17. Dimensiones generales prototipo B
(Autores)

C.3 Prototipo C

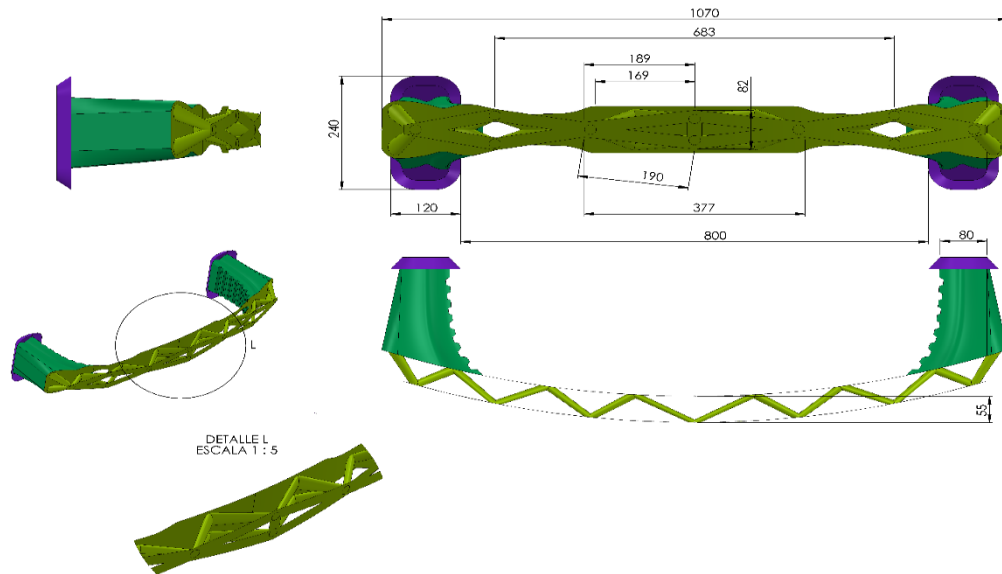


Figura 2.18. Dimensiones generales prototipo C
(Autores)

D. Calidad de Mallado de los distintos prototipos

Con respecto a la simulación de los tres prototipos primero se aplicó una malla de tipo Shell en dos dimensiones que tiene de longitud 10 mm, la misma cuenta con elementos de tipo cuadrado en gran cantidad y de tipo triángulo en menos porcentaje. El uso de esta malla se valida utilizando los índices de calidad como el jacobiano, teniendo elementos que son permitidos en la simulación, evitando que exista errores tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

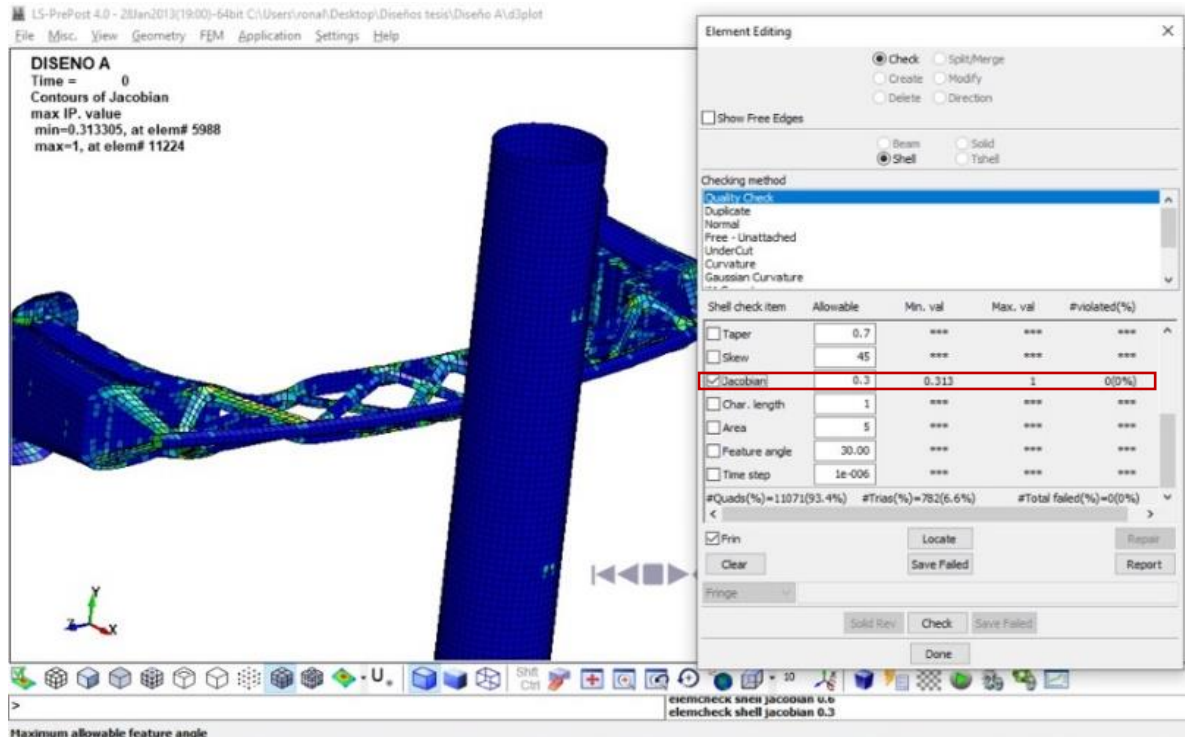


Figura 2.19. Mallado con índice de calidad Jacobiano prototipo A (mín. 0,313, valor permitido mayor a 0.3)
(Autores)

Como se observa en la figura 2.19 el resultado del índice de calidad jacobiano (recuadro que se indica en la tabla de la figura) es de 0.313 que vendría a ser un valor permitido para continuar con la simulación ya que es mayor a 0.3 de modo que reduzca la posibilidad de que aparezca errores al momento de ejecutar la simulación de impacto.

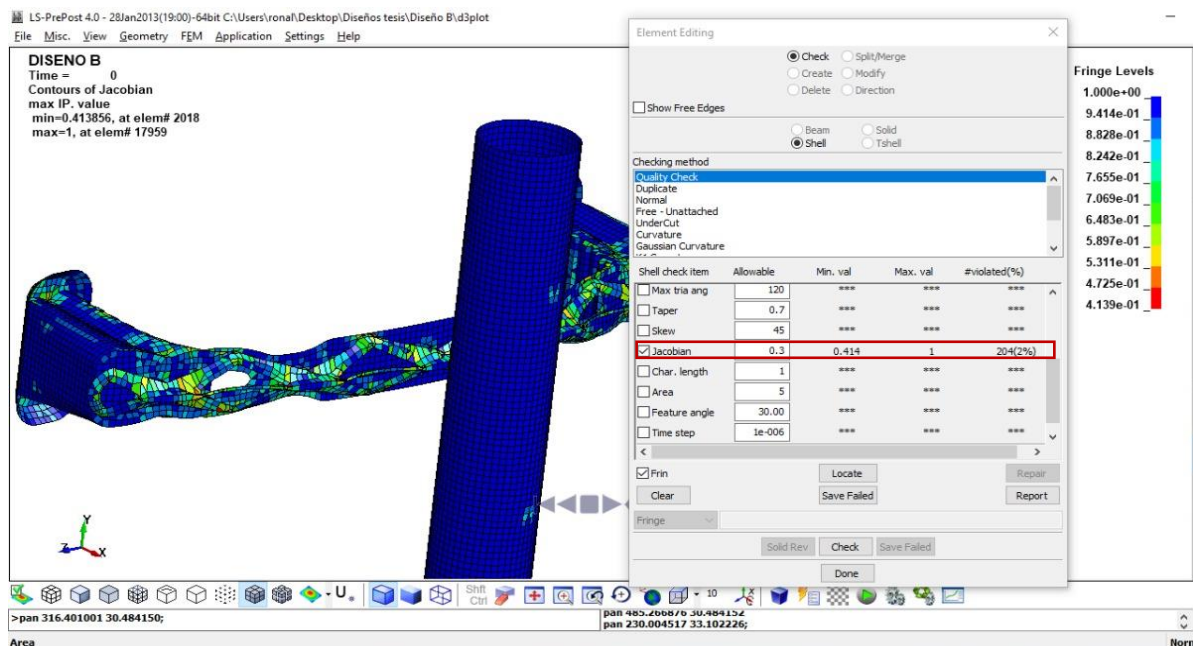


Figura 2.20. Mallado con índice de calidad Jacobiano prototipo B (mín. 0.414, valor permitido mayor a 0.3)

(Autores)

En la figura 2.20 el resultado del índice de calidad jacobiano es de 0.414 lo cual representa una buena calidad y permite continuar con la simulación de impacto de modo que reduzca la posibilidad de que aparezca errores.

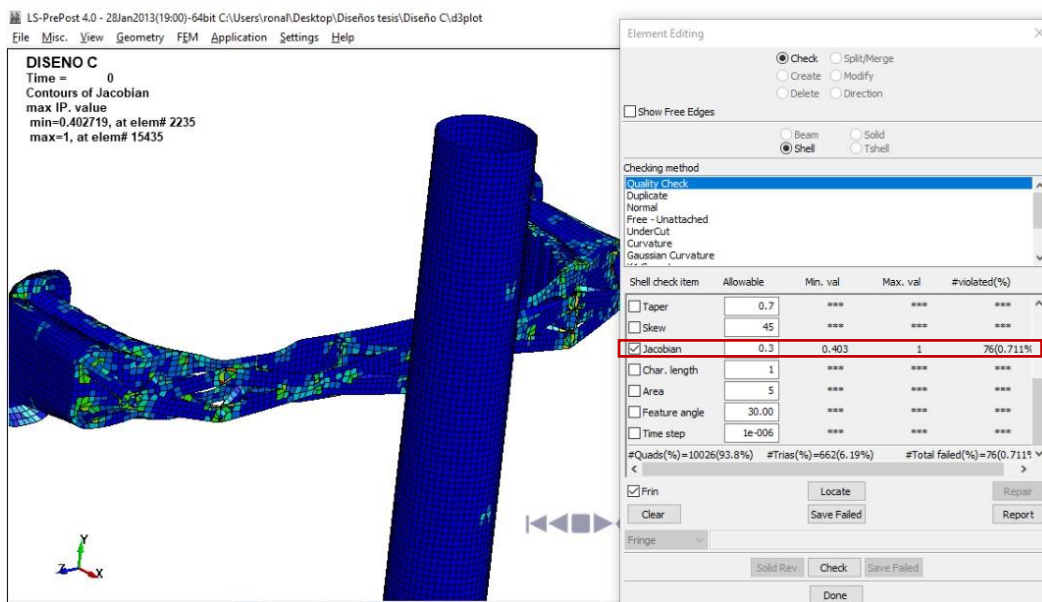


Figura 2.21. Mallado con índice de calidad Jacobiano prototipo C (mín. 0.403, valor permitido mayor a 0.3)
(Autores)

En la figura 2.21 el resultado del índice de calidad jacobiano es de 0.403 lo cual representa una buena calidad y permite continuar con la simulación de impacto de modo que reduzca la posibilidad de que aparezca errores. Esto se hace con la finalidad de hacer la selección de la mejor configuración para la investigación.

2.7.2. Condiciones De La Simulación Para La Elección Del Mejor Prototipo

Para este análisis se asignó las propiedades del material compuesto seleccionado a cada prototipo y se realizaron simulaciones de impacto con el cilindro que se detalló con anterioridad.

Con el objetivo de seleccionar la configuración del atenuador que proporcione la mayor resistencia se impactó los modelos con el mismo cilindro, primero se realizó a una velocidad de 40km/h (en base a las normas de NCAP) sin embargo no se pudo apreciar la deformación de los prototipos ya que todos se rompen al instante lo cual presentaba un problema para la selección del diseño ideal, por tal motivo se optó por realizar un método empírico reduciendo

la velocidad de simulación (reducción de 5 km/h) hasta llegar a una velocidad donde se pudo apreciar de una mejor manera la simulación y en este caso fue de 5 km/h, obteniendo así resultados críticos antes de que el material compuesto de fibra de cabuya se rompa, con esta velocidad se pudo ver el comportamiento de los diseños propuestos y se logró seleccionar la mejor configuración para implementarlo en el estudio más profundo.

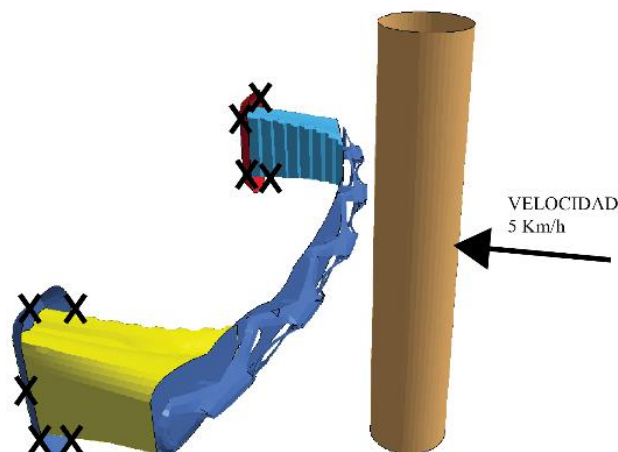


Figura 2.22. Condiciones de simulación plasmados en el modelo preliminar del bumper optimizado.
(Autores)

En la figura 2.22 se muestra el diseño preliminar del bumper con las condiciones de simulación, la flecha de color negra indica la dirección y magnitud de la velocidad, los signos en forma de equis muestran las restricciones de movimientos en todos sus grados de libertad de los soportes fijos.

Con estas condiciones comprobadas en el prototipo preliminar se procedió a asignar las condiciones a los demás prototipos denominados como A, B y C, estos datos se detallan a continuación:

Tabla 2.15. Condiciones generales de simulación

Característica	Magnitud
Peso de cilindro	30 kg
Peso del atenuador A	2.8 kg
Peso del atenuador B	5.2 kg
Peso del atenuador C	5.7 kg
Numero elementos (atenuador A)	11853
Numero de nodos (atenuador A)	11382
Numero elementos (atenuador B)	10194
Numero de nodos (atenuador B)	9913
Numero elementos (atenuador C)	10688
Numero de nodos (atenuador C)	10533
Tiempo máx. de simulación	0.2 seg.

Fuente: Autores

2.8. Simulación

2.8.1. Carta de Control para la Aplicación de Propiedades de los Materiales.

En el programa LS-Dyna se ingresa en una tabla de control de material dentro del programa para aplicar las propiedades mecánicas de los mismos, tal y como se pudo observar en la Fig. 2.9. En las siguientes figuras se indica las modificaciones para el material original y el de fibra de carbono. Adicional se necesita la configuración para el cilindro de impacto

- Para el material original

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done 2000115
2000132

Use *Parameter (Subsys: 1) Setting

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (2)

TITLE

1	MID	RO	E	PR	SIJY	ETAN	FAIL	IDEL
	2000115	7.890e-09	2.000e+05	0.3000000	270.00000	0.0	1.000e+021	0.0
2	C	P	LCS	LCSR	VP			
	8000.0000	8.0000000	2100270	0	0.0			
3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Total Card: 2 Smallest ID: 2000115 Largest ID: 2000132 Total deleted card: 0

Figura 2.23. Carta de control de materiales aplicado para el material original (Autores)

- Para el material compuesto con fibra de carbono

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done 2000116 Material fibra de C

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 Prueba 7 Fibra de carbono.k) Setting

*MAT_ENHANCED_COMPOSITE_DAMAGE_(TITLE) (054/055) (1)

TITLE

Material fibra de Carbono

1	MID	RO	EA	EB	(EC)	PRBA	(PRCA)	(PRCB)
	2000116	2.000e-09	1.650e+05	8400.0000	8400.0000	0.0170000	0.0	0.0
2	GAB	GBC	GCA	(KF)	AOPT	2WAY		
	5600.0000	5600.0000	5600.0000	2000.0000	2.0000000	0.0		
3	XP	YP	ZP	A1	A2	A3	MANGLE	
	0.0	0.0	0.0	1.0000000	0.0	0.0	0.0	
4	V1	V2	V3	D1	D2	D3	DFAILM	DFAILS
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	TFAIL	ALPH	SOFT	FBRT	YCFAC	DFAILT	DFAILC	EPS

Total Card: 1 Smallest ID: 2000116 Largest ID: 2000116 Total deleted card: 0

Figura 2.24. Carta de control de materiales aplicado para el material de fibra de carbono (Autores)

- Para el cilindro de impacto

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done 2000117

Use *Parameter (Subsys: 1) Setting

*MAT_RIGID_(TITLE) (020) (1)

TITLE

MID	RO	E	PR	N	COUPLE	M	ALIAS
2000117	4.012e-008	2.000e+005	0.3000000	0.0	0	0.0	

CMO	CON1	CON2
0.0	0	0

LCO OR A1	A2	A3	V1	V2	V3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

COMMENT:

Total Card: 1 Smallest ID: 2000117 Largest ID: 2000117 Total deleted card: 0

Figura 2.25. Carta de control de materiales aplicado para el cilindro de impacto (Autores)

2.8.2. Condiciones Para La Simulación

Se realizó los impactos con un cilindro de 150 mm y con un peso de 30kg que simulan la pierna de una persona, la misma se impactó a una velocidad de 40 km/h para poner a prueba al bumper original, al diseño optimizado tanto como el de fibra de cabuya y fibra de carbono. Esto se realiza con fines comparativos entre los distintitos modelos ya mencionados.

A. Características de los atenuadores

A continuación, se muestra las características de simulación para los atenuadores.

- **Bumper original**

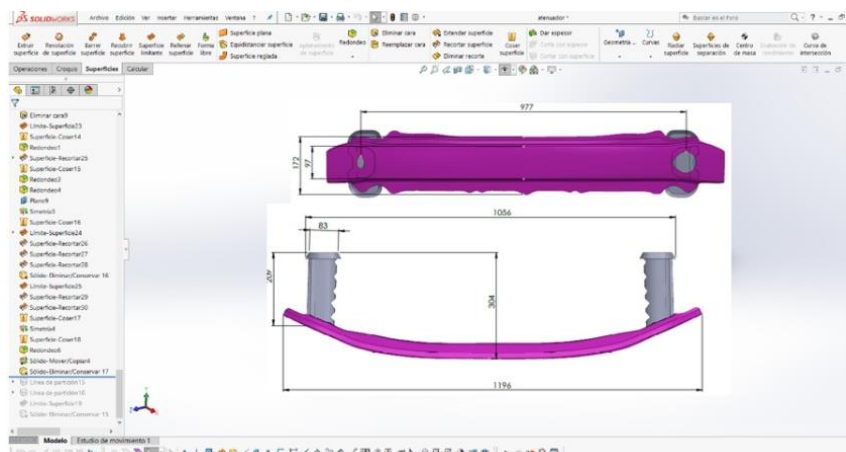


Figura 2.26. Dimensiones del atenuador original Toyota Yaris (Autores)

Para tener mayor confiabilidad del diseño del bumper original se aplicó una malla de tipo Shell en dos dimensiones juntamente con un índice jacobiano para validar su calidad y

proceder a la optimización del elemento estructural automotriz. En la siguiente figura se muestra el mallado y la aplicación del índice jacobiano mencionado.



Figura 2.27. Mallado con índice de calidad Jacobiano (mín. 0.647, valor permitido mayor a 0.3)
(Autores)

Al obtener un índice de 0.647 que es un valor mayor a 0.3 nos indica que todos los elementos del diseño no presentan errores y se puede proceder a la simulación. En la siguiente tabla se indica el número de elementos y nodos del modelo original.

Tabla 2.16. Número de elementos y nodos en modelos para simular bumper original

MODELO DE BUMPER ORIGINAL	
Número de elementos	8708
Número de nodos	11226
Tipos de elementos	Shell 2D

Fuente: Autores

- **Bumper Optimizado**

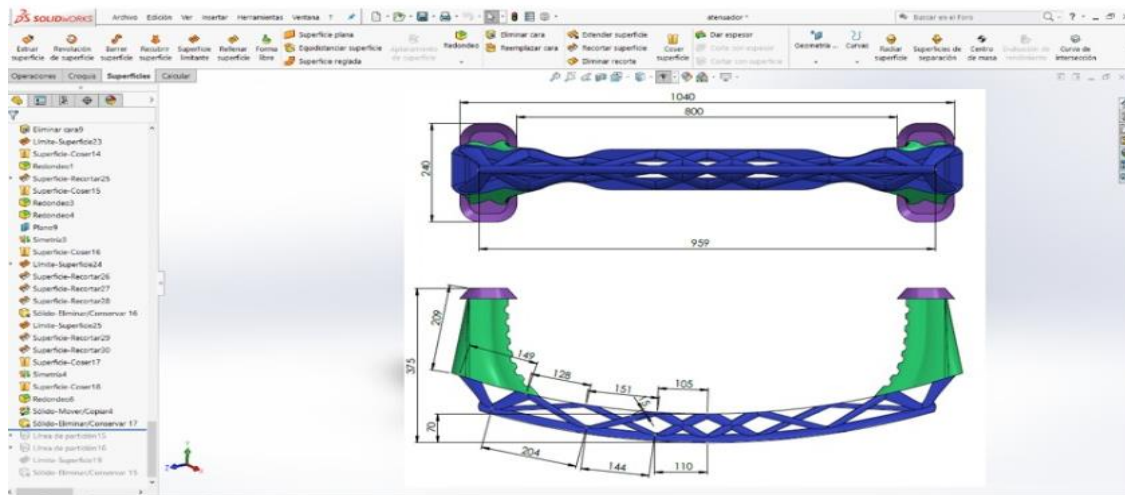


Figura 2.28. Dimensiones atenuador optimizado (Autores)

Como posteriormente al bumper optimizado ya se ha aplicado la calidad de malla con anterioridad de modo que se puede ver en la figura 2.29:

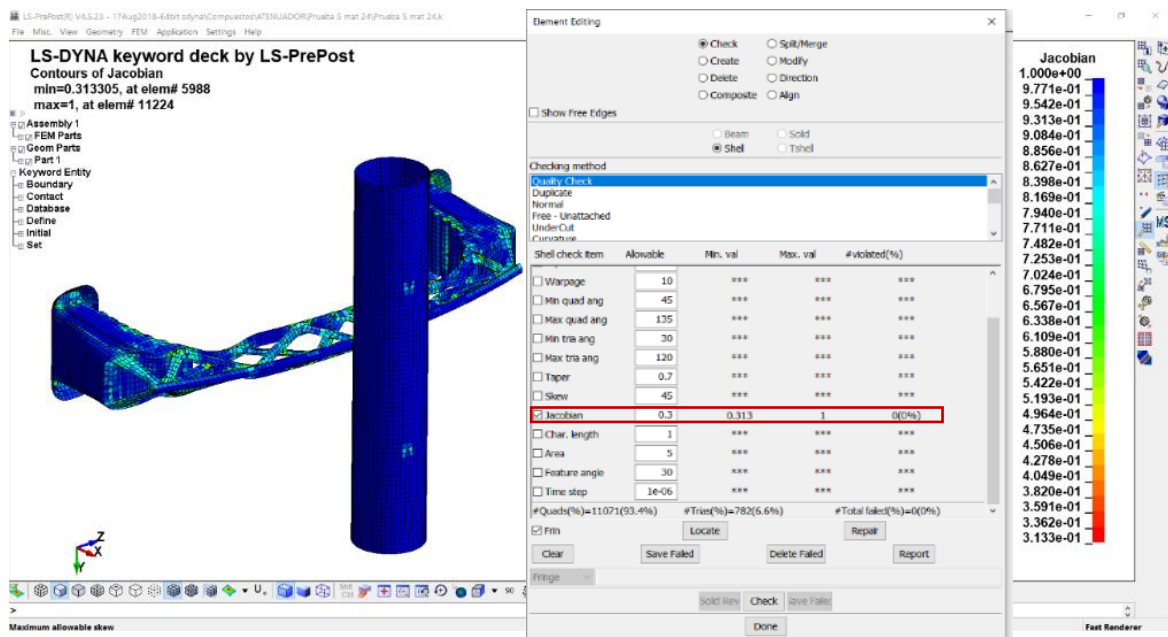


Figura 2.29. Mallado con índice de calidad Jacobiano (mín. 0.313, valor permitido mayor a 0.3) (Autores)

En la siguiente tabla se tiene presente el número de elementos y nodos para simular.

Tabla 2.17. Número de elementos y nodos en modelos para simular bumper optimizado

MODELO DE BUMPER OPTIMIZADO	
Número de elementos	11853
Número de nodos	11382
Tipos de elementos	Shell 2D

Fuente: Autores

A. Velocidad De Impacto

Se asigna la velocidad correspondiente a 11.111 mm/s (40 km/h) en dirección en x negativo, esta condición se agrega sobre todo los nodos del cilindro de impacto, utilizando la carta de control *INITIAL_VELOCITY_NODE.

1	NID	VX	VY	VZ	VXR	VYR	VZR	ICID
	10616	-1.111e+004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

COMMENT:
Velocidad = 40km/h

VX: =Initial translational velocity in x-direction.

Figura 2.30. Asignación de velocidad distribuida en todos los nodos del cilindro de impacto (Autores)

B. Soportes Fijos

Se restringe los nodos en todos sus grados de libertad correspondientes a las bases que unen el atenuador con el bastidor del vehículo como se muestra en el gráfico, para esta condición se utiliza la carta de control *BOUNDARY_SPC_NODE.

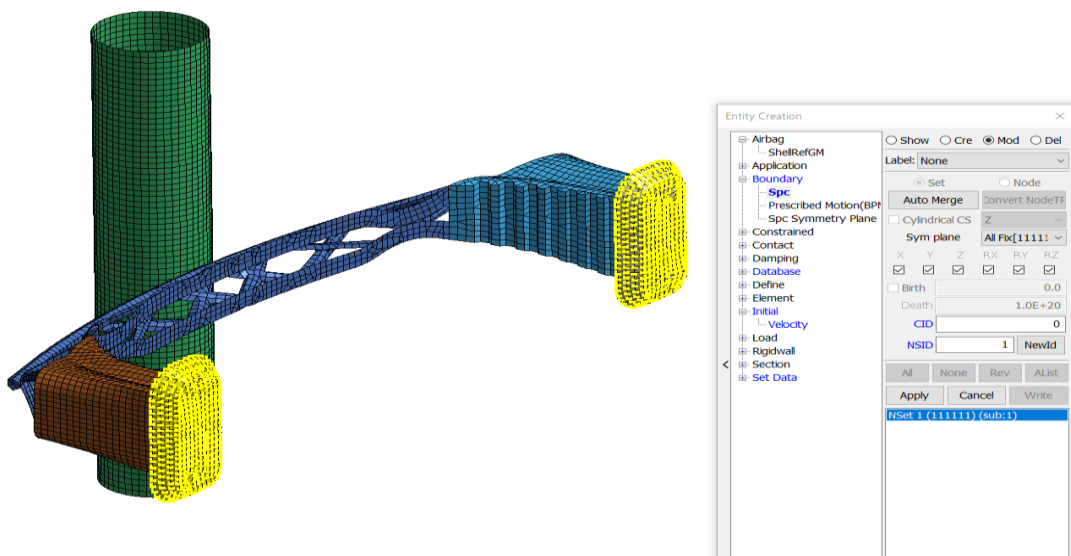


Figura 2.31. En amarillo nodos restringidos correspondientes a las bases del atenuador (Autores)

C. Contactos

Se asigna un contacto de manera general para que entren en contacto todos los cuerpos al momento de producirse el impacto, se utiliza la carta de control *CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE activando el casillero SSTYP 5 correspondiente a un contacto entre todos los cuerpos.

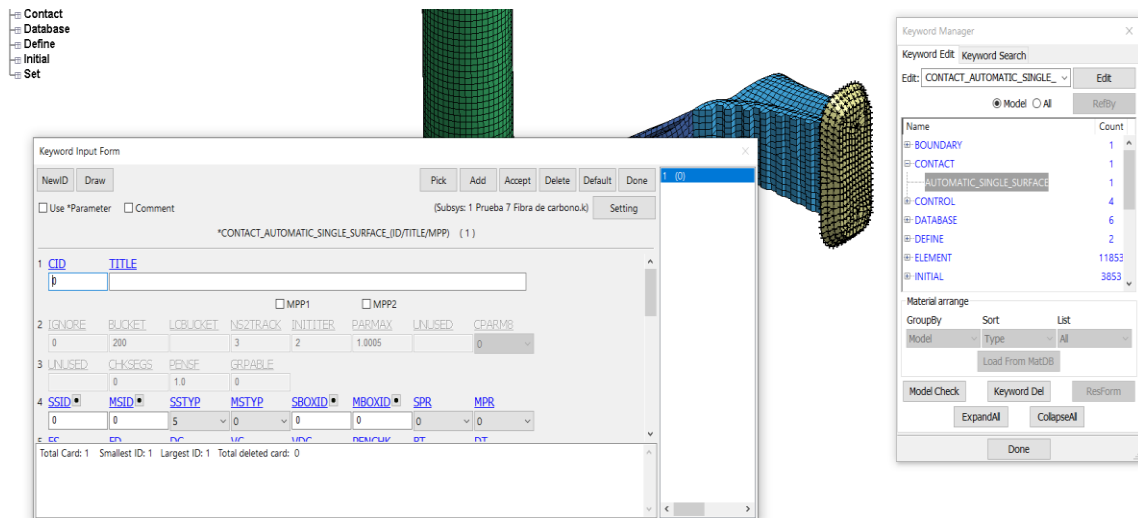


Figura 2.32. Carta de control utilizada para generar contacto entre todos los cuerpos (Autores)

2.8.3. Controles De Simulación

Para los controles de simulación se activaron las siguientes cartas:

*CONTROL_HOURLGLASS se utiliza para controlar la energía no física de Hourglass (tensión del diseño sólido) que permanezca en valores aproximados a cero.

*CONTROL_SHELL se utiliza para que realice un control de los índices de calidad de malla durante la simulación.

*CONTROL_TERMINATION esta carta es obligatoria en esta se coloca la duración de la simulación, para todas las simulaciones es de 0.15 segundos.

*CONTROL_TIMESTEP esta carta de control asigna el tiempo entre cada uno de los ciclos de cálculo de la simulación, para las simulaciones se realizarán un ciclo de cálculo cada 0.000004 segundos.

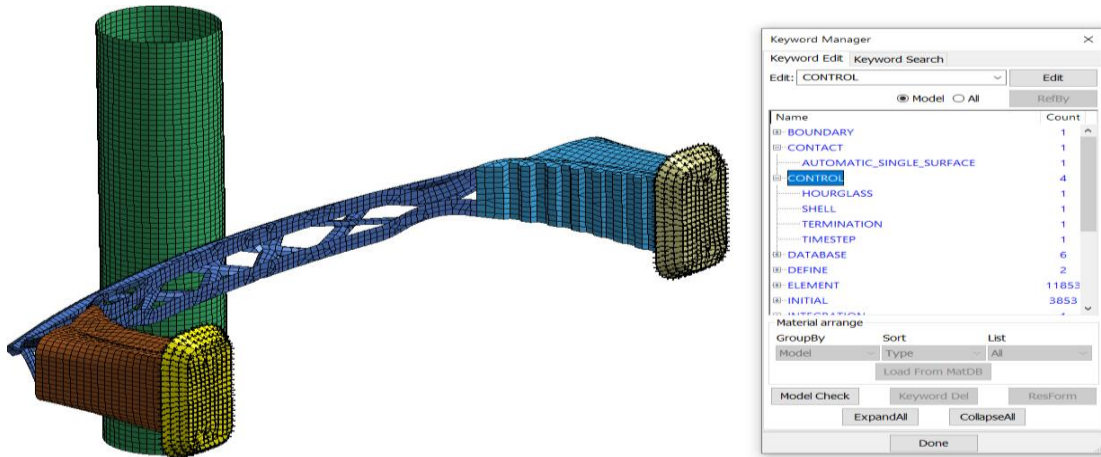


Figura 2.33. Gráfico de “Keyword Manager” correspondiente a la activación de cartas en LS-Dyna
(Autores)

CAPITULO III

3. Resultados y Análisis

1.1. Resultados

1.1.1. Resultados de la simulación de los prototipos

A. Simulaciones

Con las condiciones mencionadas juntamente con el mallado mencionados en el capítulo anterior se realizó el impacto con el cilindro a las tres propuestas, obteniendo resultados representados en las siguientes gráficas:

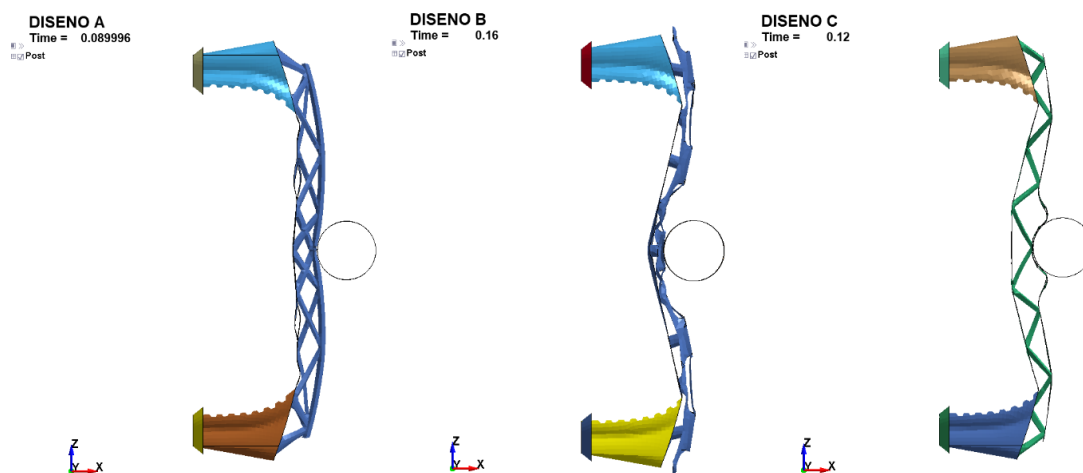


Figura 3.1. Simulación de impacto, de izquierda a derecha primero el prototipo A, luego el prototipo B y por último el prototipo C
(Autores)

En la figura 3.1 representa el tiempo en el que logra su máxima deformación del bumper hasta que el cilindro de impacto empieza a rebotar. Con una simple observación el diseño del prototipo A tiene una menor deformación e inclusive un menor tiempo de acción de rebote en comparación tanto del prototipo B y C.

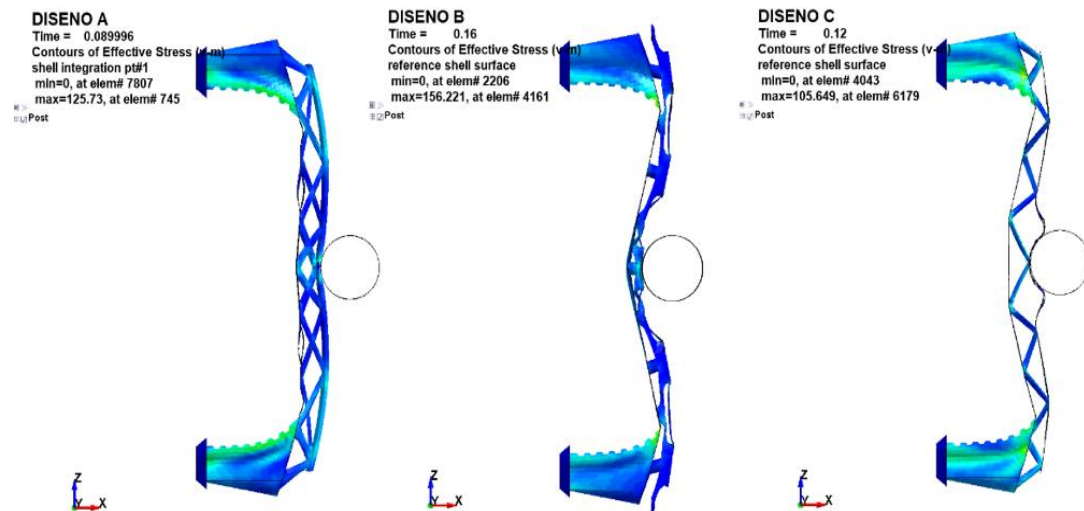


Figura 3.2. Esfuerzos de Von Mises al impactar el cilindro y mostrando la máxima deformación en cada prototipo
(Autores)

En la figura 3.2 se puede observar los diferentes esfuerzos de Von Mises de cada prototipo siendo el diseño B el que mayor esfuerzo representa con 156.22 MPa, pero con una gran deformación del componente. El diseño A tuvo un esfuerzo de 125.73 MPa y el diseño C un esfuerzo de 105.64 Mpa.

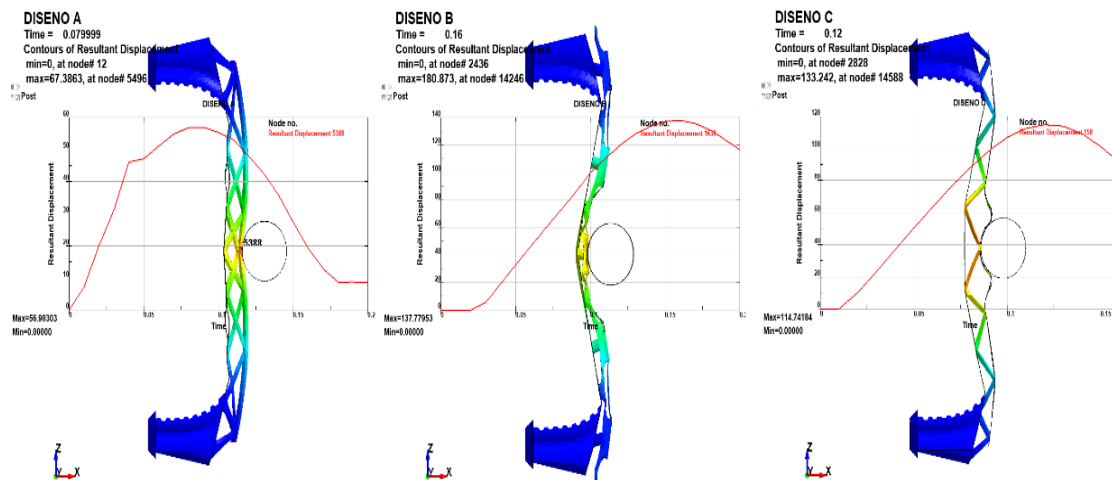


Figura 3.3. Atenuadores en la máxima deformación
(Autores)

En la figura 3.3 se puede observar los desplazamientos del cilindro en la máxima deformación, en el prototipo A se da un desplazamiento de 56.9 mm, en el prototipo B de 137.7 mm y en el prototipo C de 114.7 mm

En la siguiente tabla 3.1 podemos visualizar los resultados obtenidos de la deformación, el esfuerzo máximo de Von Mises y el tiempo en el que se consideró analizar en el programa LS-Dyna previo a la decisión de elegir el prototipo ideal para la investigación.

Tabla 3.1 Resumen de resultados obtenidos en el programa LS-DYNA de los diferentes prototipos a elegir

RESULTADOS DE SIMULACIÓN			
Diseños	Prototipo A	Prototipo B	Prototipo C
Unidades			
Tiempo (s)	0,0899	0,16	0,12
Esfuerzo máximo Von Mises (MPa)	125,73	156,221	105,649
Deformación máxima (mm)	67,3863	180,873	133,242

Fuente: Autores

A continuación, se muestra una figura donde se comparan los desplazamientos del cilindro con respecto a cada prototipo.

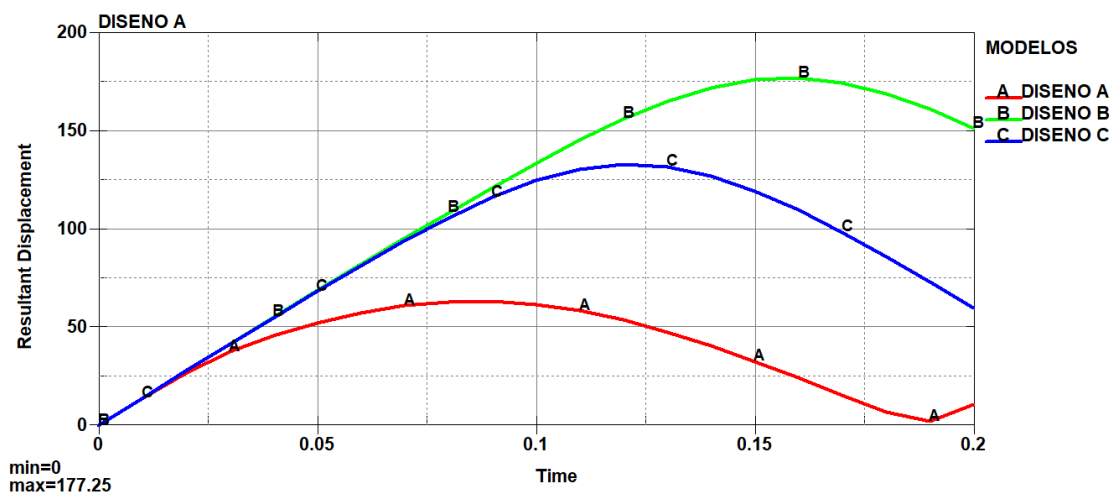


Figura 3.4. Desplazamiento del cilindro en cada prototipo al momento del impacto (Autores)

En la figura 3.4 se muestra el desplazamiento del cilindro dado en milímetros en función del tiempo de simulación en cada uno de los prototipos (A, B y C), donde se puede notar que el mayor desplazamiento es de 177.25 mm correspondiente al diseño B.

B. Resultados Y Elección Del Mejor Prototipo

Al terminar las simulaciones de impacto con las condiciones detalladas anteriormente se concluyó que el diseño A es el más resistente debido a que presenta un desplazamiento de 56.9 mm en su estructura y un desplazamiento máximo del cilindro de 63.2 mm, comprobando así que el diseño A presenta una deformación 2.52 veces menor en

comparación con el diseño B y una deformación 2.1 veces menor con el diseño C. Por esta razón se selecciona el diseño A para el desarrollo del estudio.

1.1.2. Resultados de las simulaciones del bumper original

En la simulación del bumper original bajo las condiciones mencionadas en el capítulo anterior, se puede apreciar en la Fig. 3.5, la reacción que tuvo éste con un cilindro de impacto de 30Kg., donde, el atenuador de impactos a los 0.00999 segundos absorbe un esfuerzo de Von Mises máximo de 2361.69MPa, el cual al final presenta una leve deformación y posterior rebote del cilindro de impactado. A los 0.02 segundos cuando el cilindro de impacto empezó a alejarse del bumper, se aprecia que el esfuerzo de Von Mises se redujo hasta un 1806,14MPa y fue disminuyendo dicho esfuerzo como se puede observar a los 0.03 segundos.

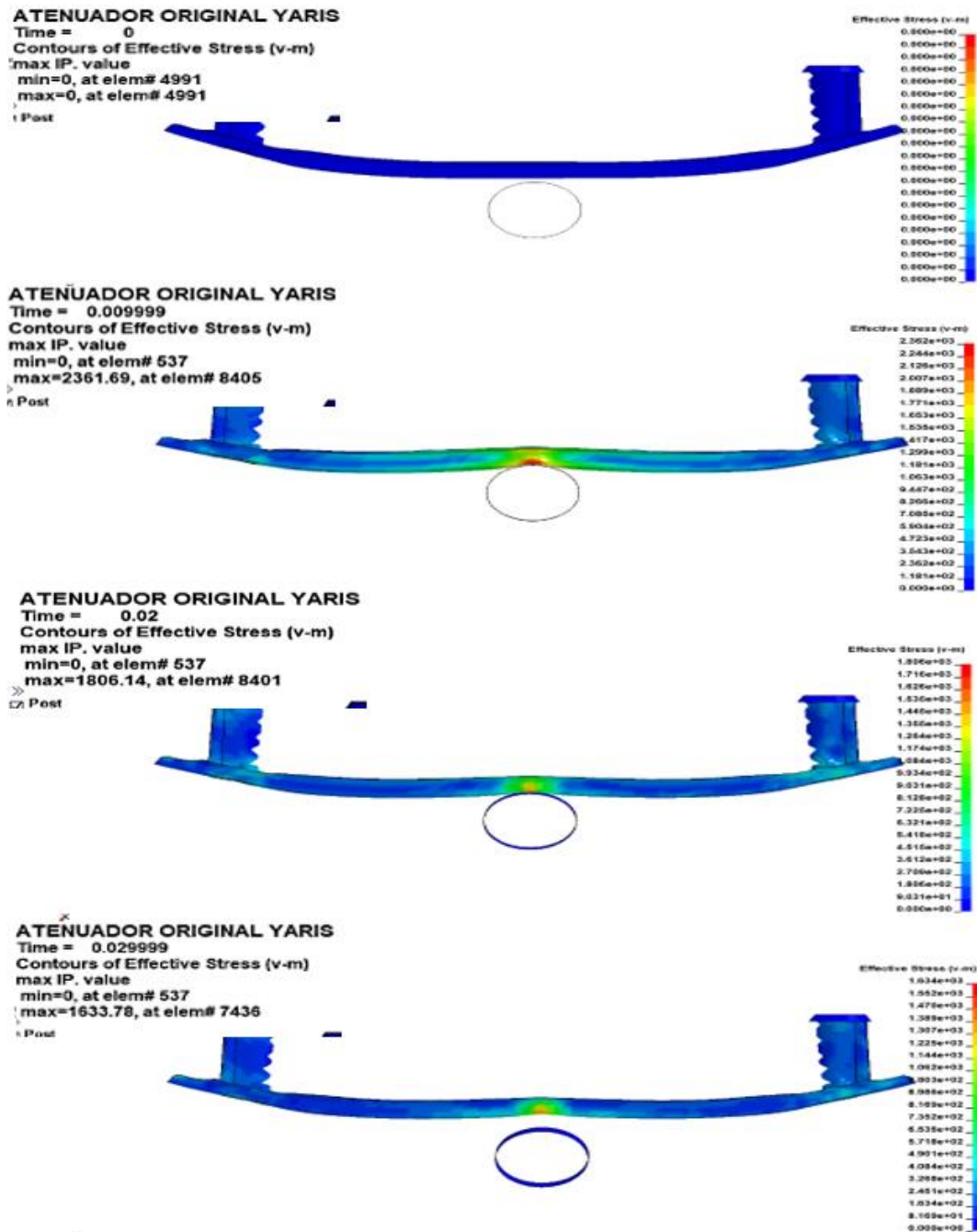


Figura 3.5. Simulación de impactado con el bumper original del vehículo Toyota Yaris en el programa ANSYS WORKBENCH
 (Autores)

1.1.3. Resultados de las simulaciones del Bumper Optimizado

A. Bumper Optimizado con fibra de cabuya

En la fig. 3.6 se realiza la simulación del bumper a base de fibra de cabuya con el cilindro de impacto en donde se puede apreciar que sufre un esfuerzo máximo de Von Mises de 430.98 MPa a los 0,019998 segundos. En la simulación se produce una ruptura prominente del diseño del bumper como se puede observar a los 0.03 segundos.

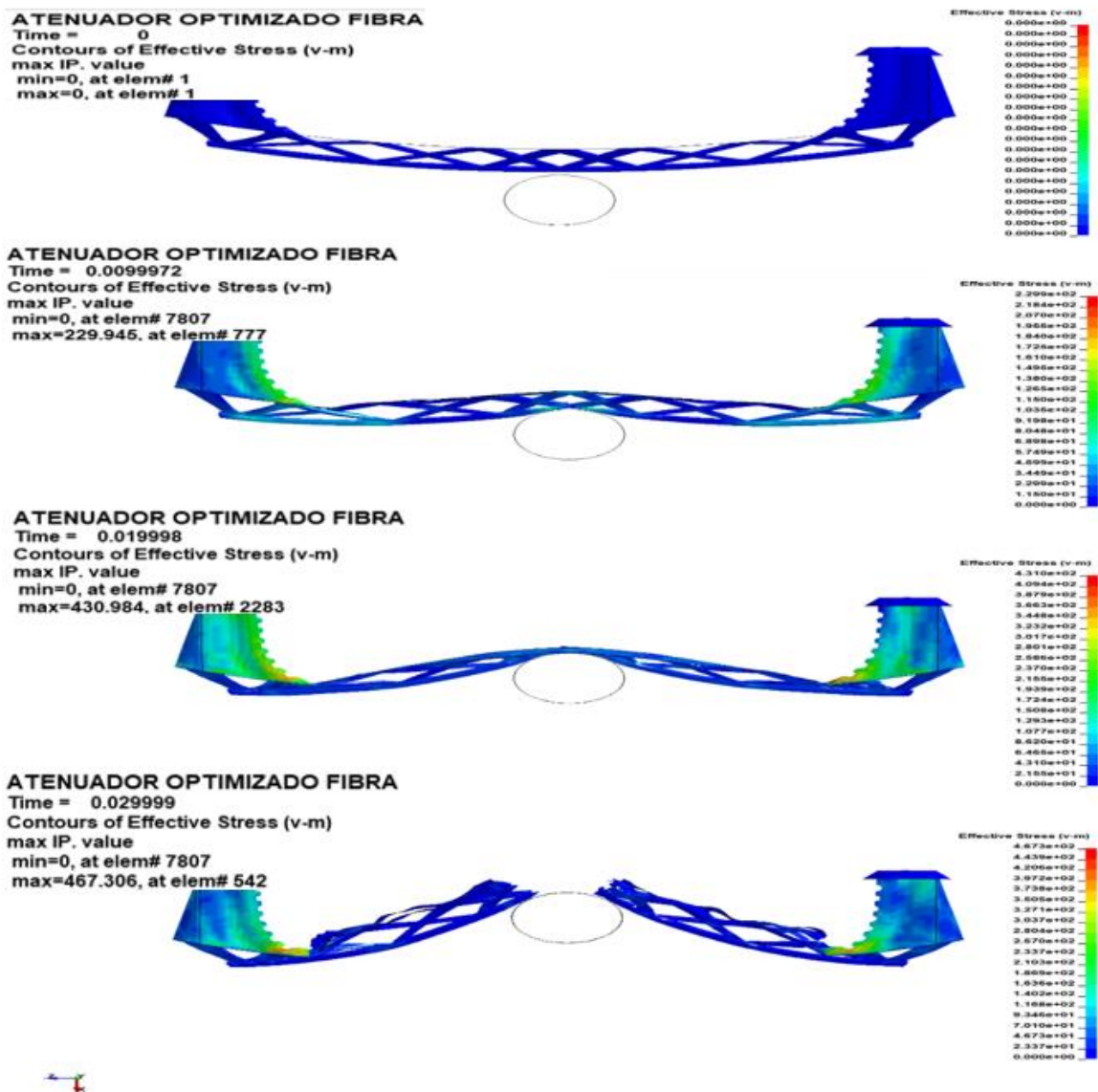


Figura 3.6. Simulación del diseño del bumper optimizado con el material compuesto de fibra de cabuya
(Autores)

B. Bumper Optimizado Con Fibra De Carbono

En la fig. 3.7 se realizó la simulación del bumper a base de carbono con el cilindro de impacto en donde se puede apreciar que sufrió un esfuerzo máximo de Von mises de 2613.29MPa a los 0,019998 segundos (mismo tiempo que la anterior simulación), el cual, con este material no sufre una ruptura en el lugar de impacto, pero si se pudo observar una gran deformación del atenuador antes de que el cilindro de impacto genere su acción de rebote a los 0.04 segundos y a su vez que el esfuerzo empezó a disminuir.

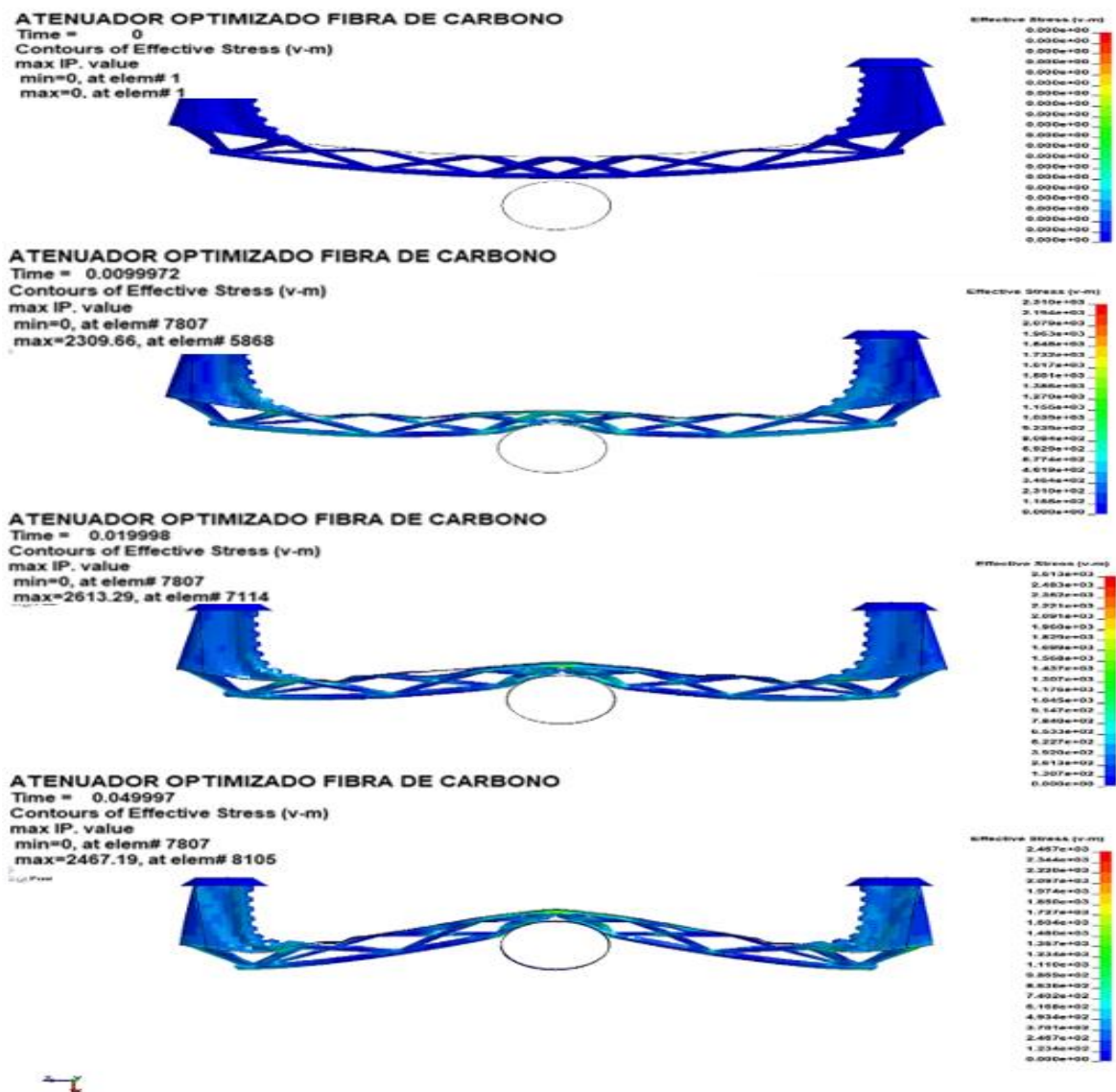


Figura 3.7. Simulación del diseño del bumper optimizado en base del material compuesto de fibra de carbono
 (Autores)

1.1.4. Resultados de las simulaciones en los tres modelos propuestos

En la figura 3.8 se puede observar los resultados obtenidos de la simulación ante un cilindro de impacto, en donde, para el material original el cilindro de impacto rebota dejando una leve deformación; la fibra de cabuya sufre una fisura notoria y no resiste al impacto y la fibra de carbono, el cual, tiene una mayor resistencia al impacto, pero a su vez se aprecia una gran deformación del elemento estructural a base de dicho material.

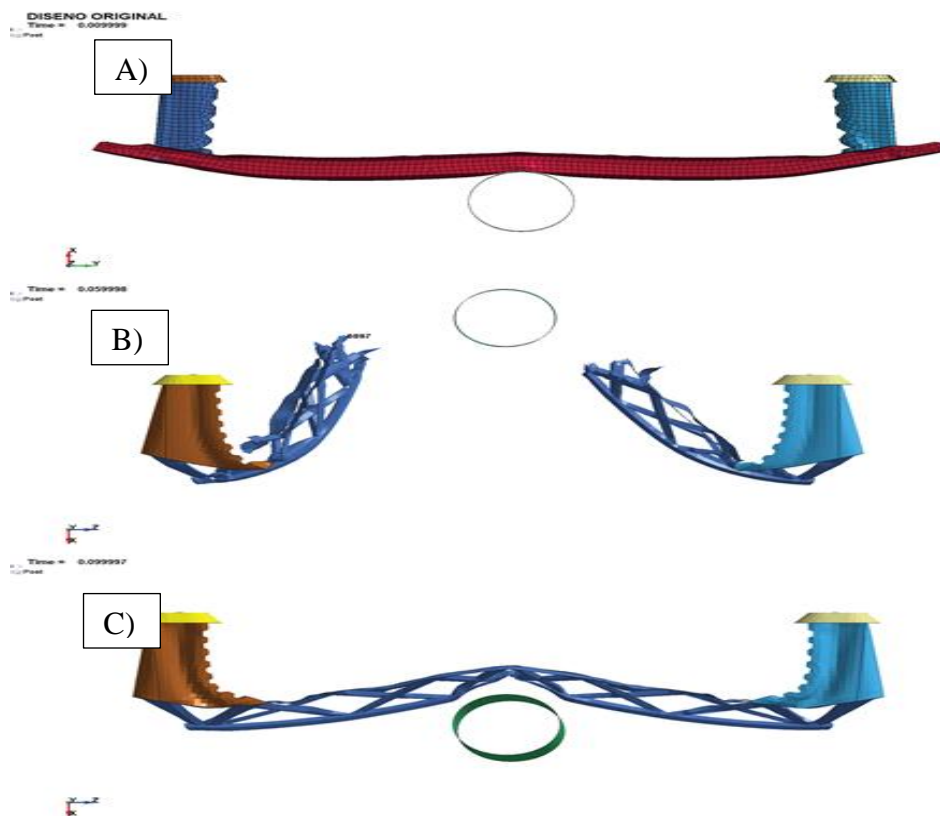


Figura 3.8. Vista superior de impacto del bumper para los diferentes diseños: A. diseño original; B. diseño de fibra de cabuya; y C. diseño de fibra de carbono
(Autores)

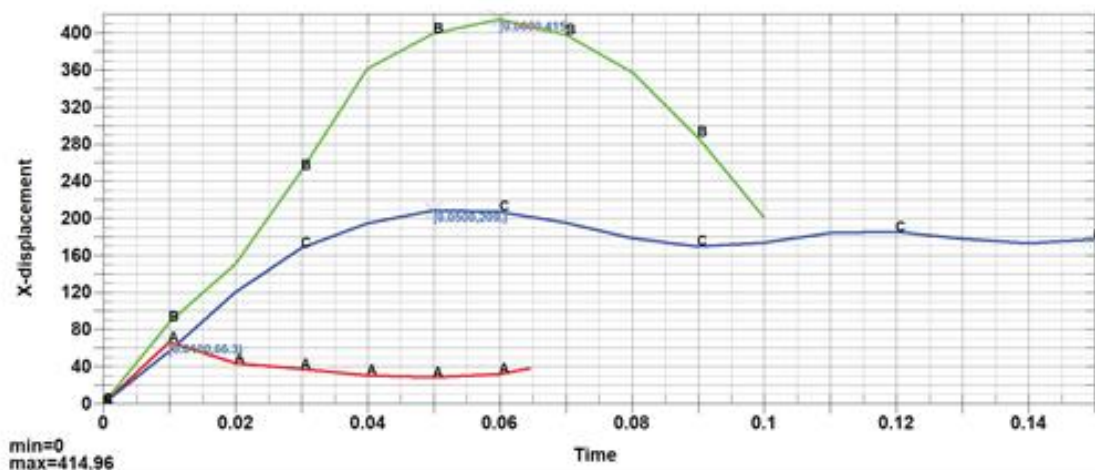


Figura 3.9. Desplazamiento en x en diferentes diseños bumper (A. Original; B. Fibra de cabuya; y C. Fibra de carbono)
(Autores)

De la figura 3.9 por medio la gráfica se puede diferenciar el distinto comportamiento que tiene los diferentes diseños con los respectivos materiales. De esta manera se puede observar el desplazamiento del elemento mediante la simulación dentro de un tiempo determinado y

con las condiciones ya antes mencionadas. El modelo que tienen un mayor desplazamiento con un valor máximo de 414.96 mm es el bumper con fibra de cabuya. A simple vista el material original es el que menos desplazamiento sufre a diferencia de la fibra de cabuya y la fibra de carbono.

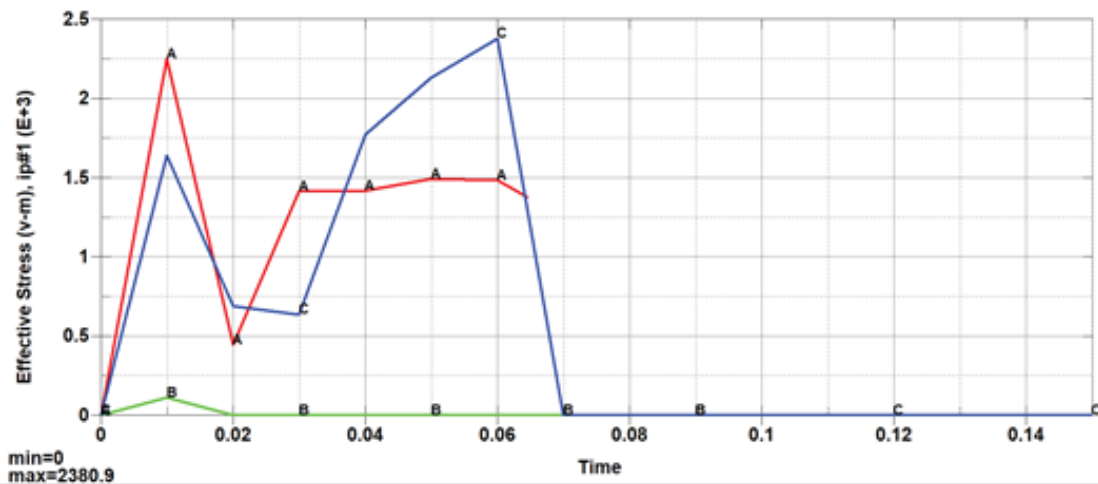


Figura 3.10. Esfuerzo de Von Mises en diferentes diseños bumper (A. Original; B. Fibra de cabuya; C. Fibra de carbono)
(Autores)

En la figura 3.10 mediante la simulación, se obtiene los distintos esfuerzos de Von Mises para los distintos materiales durante el transcurso de un tiempo. En esta gráfica se puede realizar una comparación de los distintos esfuerzo máximo que se ha obtenido por medio de la simulación computacional, en donde se puede apreciar que la fibra de cabuya tendría un pico menor de esfuerzo de 250 MPa ante el material original y la fibra de carbono con un esfuerzo mayor de 2380.9 MPa.

En la siguiente tabla 3.2 podemos visualizar los resultados obtenidos de la simulación en el programa LS-DYNA de la deformación, el esfuerzo máximo de Von Mises y el tiempo en el que se consideró para el análisis de los diferentes diseños del bumper de la investigación con los diferentes materiales.

Tabla 3.2 Resumen de resultados obtenidos en el programa LS-DYNA de los diferentes diseños de bumper

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN			
Material del Diseño	Material Original	Material de resina epoxi con fibra de cabuya	Material compuesto de fibra de carbono
Unidades			
Tiempo (s)	0,01	0,03	0,05

Tabla 3.2 Resumen de resultados obtenidos en el programa LS-DYNA... (continuación)

Esfuerzo máximo Von Mises (MPa)	2361,69	467,306	2613,29
Deformación máxima (mm)	66,3	-	209

Fuente: Autores

1.2. Análisis para la validación de los resultados

Para validar los resultados obtenidos de las simulaciones expuestos anteriormente, se replicó en un ensayo de compresión real con un simulado y se hizo un contraste a los valores obtenidos para de esta manera encontrar la variación existente en este estudio.

La probeta que se construyó para validar los resultados se basó al modelo optimizado a escala, el cual, se ajustó a algunos requisitos de la máquina de ensayos de compresión, como también algunos requisitos para el proceso de construcción. Las dimensiones y geometrías del atenuador a escala construido se detallan en la figura 3.7 a continuación:

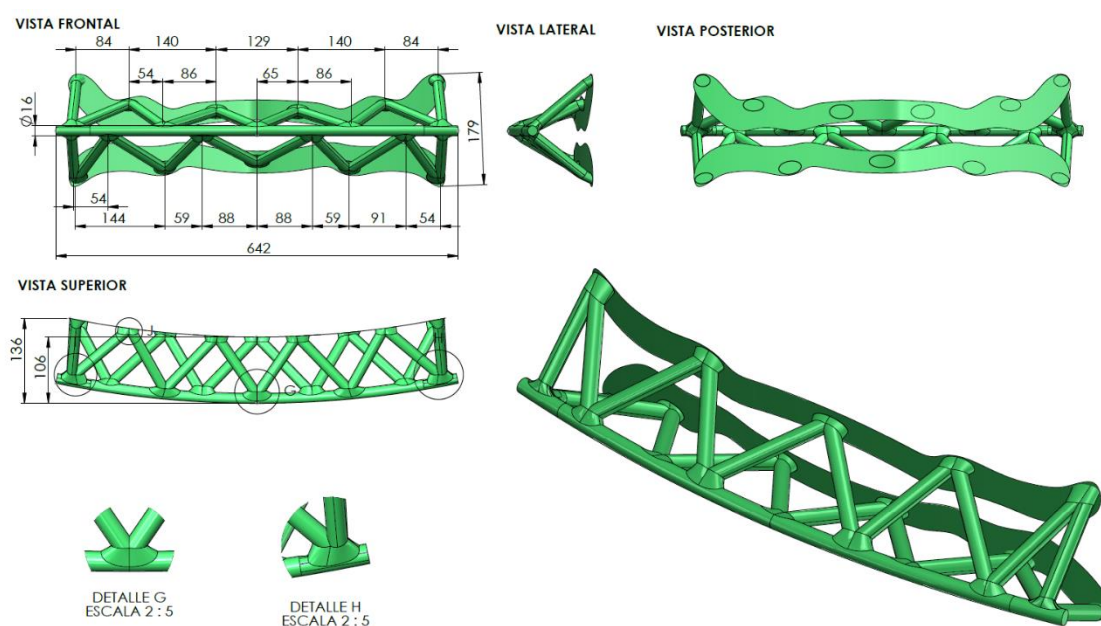


Figura 3.11. Dimensiones de probeta para ensayo de compresión, largo 642 mm, ancho máx. 136 mm, alto 179 mm
(Autores)

Para la construcción de la probeta se realizó un molde con tuberías de plástico, cartón y acero en base a las dimensiones que se detallan en los planos de la figura anterior, una vez listo el molde se procedió a colocar las fibras de cabuya por los agujeros de las tuberías siguiendo la orientación que mejor se puedan colocar, tratando de seguir lo indicado en la investigación del material seleccionado, una vez que se colocó las fibras en el molde, se coloca resina

epóxica y se utilizó el secante adecuado para que se fusione con las fibras, como se puede observar en la siguiente figura.

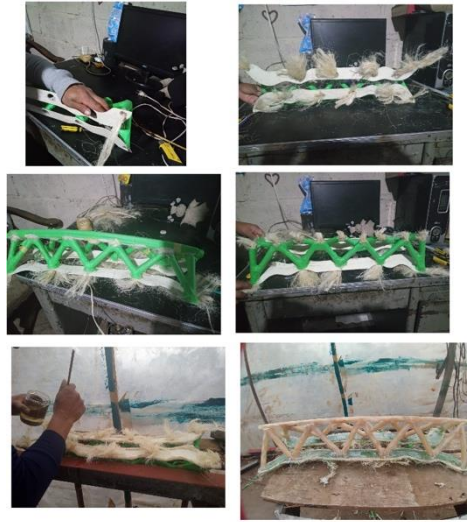


Figura 3.12. Proceso de construcción de la probeta para ensayo de compresión
(Autores)

1.2.1. Ensayo INEN

El proceso de ensayo en la máquina universal es bastante simple, comenzó con la colocación de unas bases donde se apoyó la probeta, luego se fijó las bases para que coincida con el centro de la pieza, para realizar la prueba de esfuerzo se contó con un pistón de 20 cm de radio que bajó lentamente hasta la probeta y la comprimió progresivamente, al observar una ruptura se finalizó el ensayo. Cabe decir que todo el proceso fue gestionado electrónicamente y supervisado por un técnico.



Figura 3.13. Ensayo de compresión realizado al elemento estructural
(Autores)

Luego se obtuvo los resultados que fueron recopilados en una hoja técnica.


 SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN		LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS		Hoja N° 1 de 2							
Edición: 05											
INFORME DE RESULTADOS N°		LE-2021-068		FECHA: 2021-02-09							
INFORMACIÓN GENERAL											
N° SOLICITUD DE TRABAJO:		ST-2021-037									
ENTIDAD/EMPRESA⁽¹⁾:		Aguirre Lenin y Guevara Ronald									
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:		2020-02-08		E-MAIL⁽¹⁾: rdguevarag@utn.edu.ec							
MUESTREO/ TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR⁽¹⁾:		No Aplica		ACTA No.⁽¹⁾: No Aplica							
CARGA MÁXIMA											
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:		2021-02-08									
NORMA DE REQUISITOS⁽¹⁾:		No Aplica									
MÉTODO DE ENSAYO⁽¹⁾:		LE-PTE-G-18									
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:		LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES									
CONDICIONES AMBIENTALES:		Temperatura, °C: No Aplica		Humedad Relativa, %: No Aplica							
EQUIPOS UTILIZADOS:		Máquina Universal. Código: 2499									
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO⁽¹⁾:		Prototipo basado en bumper de Toyota Yaris con material compuesto y optimizado topológicamente		MARCA⁽¹⁾: No Aplica							
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:		OE-2021-037-01		CÓDIGO DE CLIENTE⁽¹⁾: No Aplica							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga máxima kN</th> <th>Carga máxima kgf</th> <th>Observaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0,89</td> <td style="text-align: center;">90,4</td> <td>El objeto de ensayo presenta rotura en la base de la estructura</td> </tr> </tbody> </table>						Carga máxima kN	Carga máxima kgf	Observaciones	0,89	90,4	El objeto de ensayo presenta rotura en la base de la estructura
Carga máxima kN	Carga máxima kgf	Observaciones									
0,89	90,4	El objeto de ensayo presenta rotura en la base de la estructura									

Figura 3.14. Ficha técnica donde se detallan los datos sobre el ensayo de compresión (Autores)

La fuerza con la que la probeta se rompió fue de 0.89 kN, la rotura se produjo en las bases del modelo como se puede ver en rojo de la figura 3.11 mostrada a continuación.

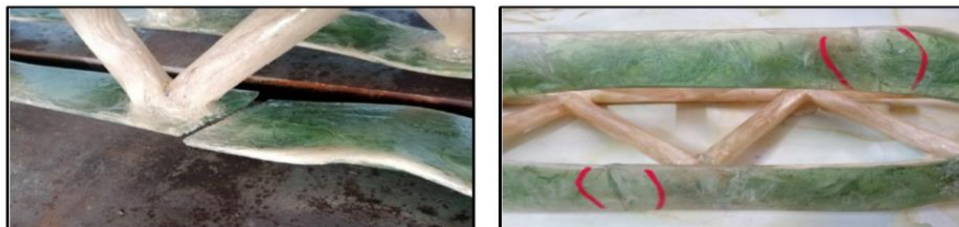


Figura 3.15. Probeta durante el ensayo INEN (Autores)

Por lo que se puede apreciar en la imagen anterior, al finalizar el ensayo las bases del bumper fue donde se obtuvo las primeras fisuras y no en las nervaduras del diseño propuesto, tal y como se esperaba que sucediera como la simulación previamente realizada.

1.2.2. Simulación Computacional En Comparativa Del Ensayo INEN

Se procede reiteradamente a realizar una simulación computacional similar al ensayo del laboratorio y de esta manera tener una mejor comprensión de lo sucedido; con la finalidad de realizar de nuevo un análisis y poder dar respuesta del porqué de los distintos resultados obtenidos entre el ensayo experimental real y la simulación computacional.

Al diseño de bumper propuesto juntamente con los datos del material compuesto, se le realizó una generación de malla tipo “Shell” con la finalidad de reconocer el número de elementos y nodos del diseño para analizar nuevamente; tal y como se puede apreciar en la figura 3.10 a continuación.

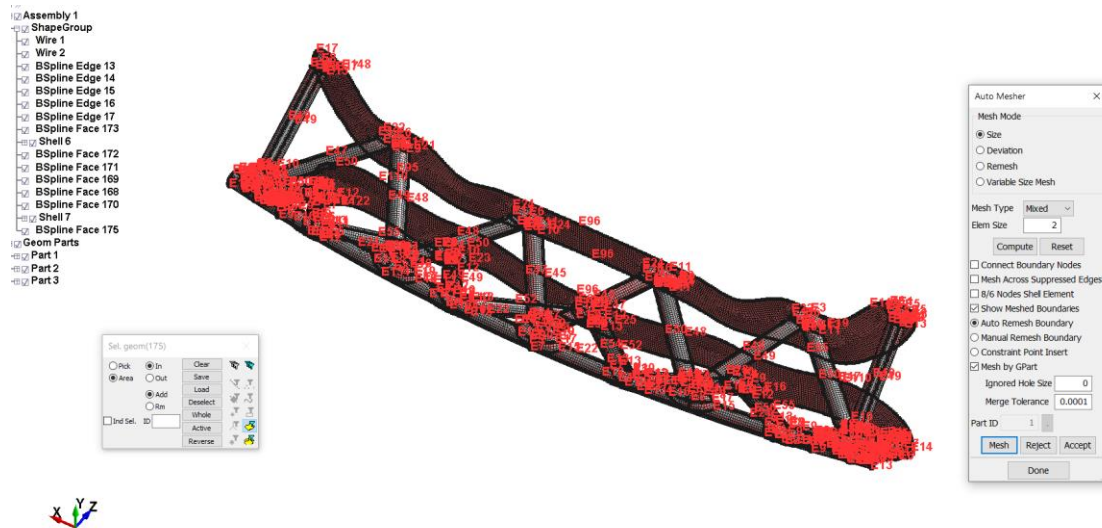


Figura 3.16. Generación de malla de elementos finitos de tipo Shell, número de elementos 49040 y número de nodos 48994 (Autores)

Se verifica que la malla tenga un índice de jacobiano mayor a 0.3, como se puede observar en la Fig. 3.11, para garantizar que tenemos resultados fiables al momento de realizar la simulación.

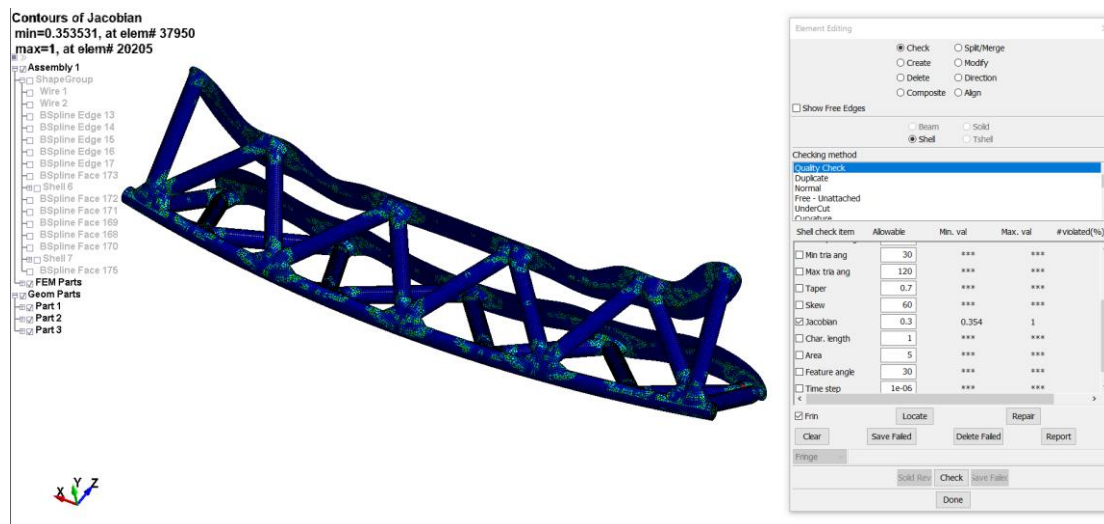


Figura 3.17. Comprobación de índice de calidad de malla con jacobiano 0.3 (Autores)

Se aplicó el tipo de malla al cilindro (Fig. 3.13) el cual ejecutó la carga con un diámetro de 40 mm y una longitud de 200 mm; también se modeló una base plana, en ambos modelos se aplicó una malla de tipo sólido.

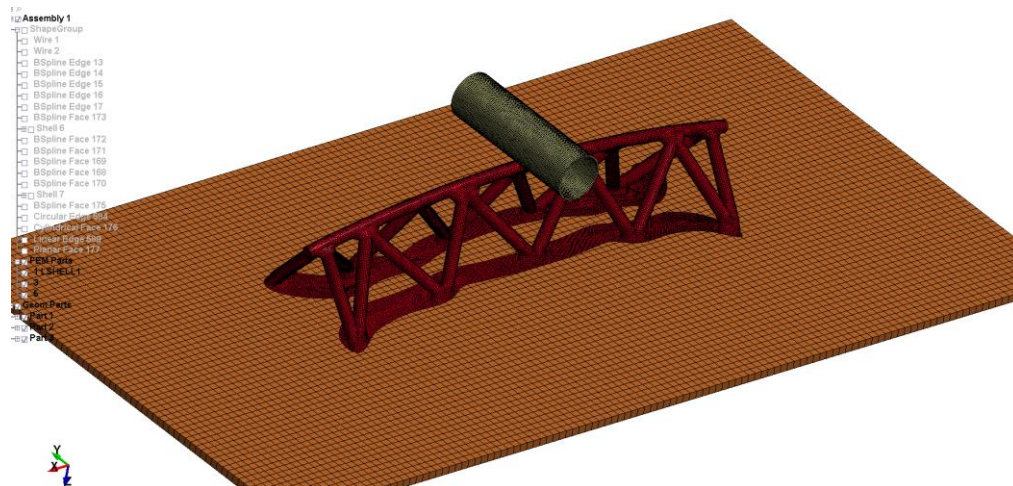


Figura 3.18. Modelo para simulación de carga por compresión, en rojo probeta a escala de ensayo (Autores)

Para el ensayo se aplicó una carga máxima de 890 N (la cual fue la carga en la que se produjo la fisura en las bases del bumper en el ensayo experimental), distribuida en 19178 nodos del cilindro que corresponde una carga de 0.046 N por cada nodo, esta carga se aplicó de manera gradual, las misma que se incrementó de 0 a 0.046 en un tiempo de 1 segundo. Se aplicó la carga utilizando la carta de control *LOAD en dirección a Z negativo y esta carga es asignada por medio de la curva mostrada en la Fig. 3.15 a continuación:

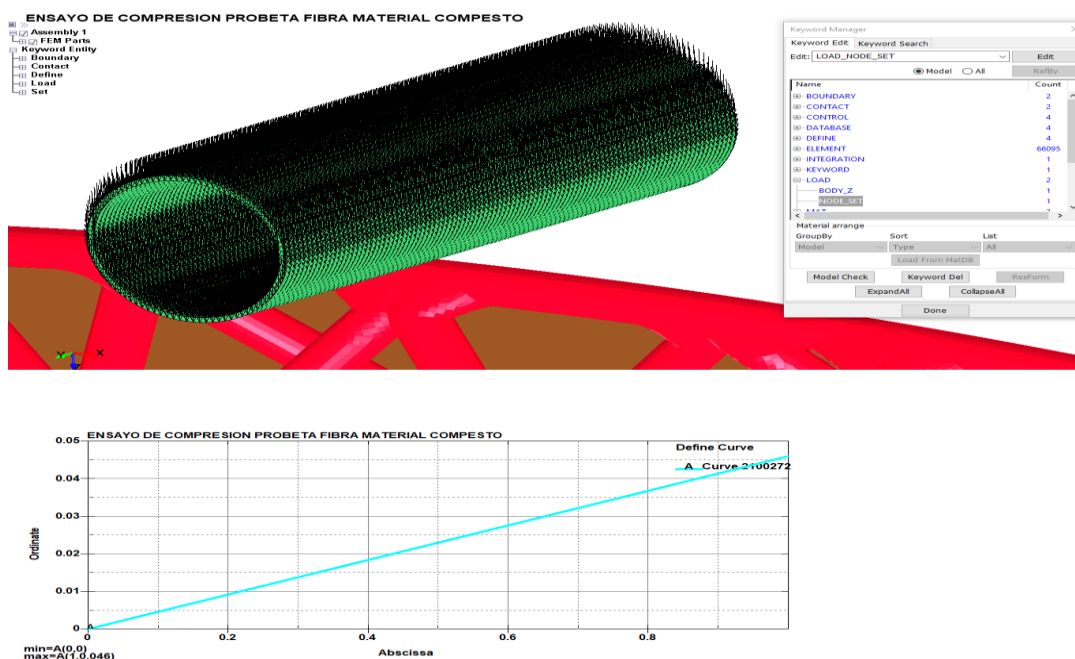


Figura 3.19. Gráfico superior asignación de carga en cada nodo del cilindro para la simulación de compresión, grafico inferior curva de carga (Autores)

Otra condición en el modelo de simulación son los soportes fijos que se asignaron para el piso restringiendo todos los grados de libertad y de igual manera para en el cilindro de impacto a excepción de la dirección en Z. que es la dirección de movimiento de traslación del mismo para la aplicación de la carga.

Se generan contactos entre las tres partes cilindro, probeta y base, se coloca coeficiente de fricción estático y dinámico de 0.2, la simulación tiene una duración de 1.2 segundos. El modelo se resuelve por medio del software LSDYNA en que tiene un tiempo de simulación de 1 hora aproximadamente. Esto se puede apreciar en la siguiente figura:

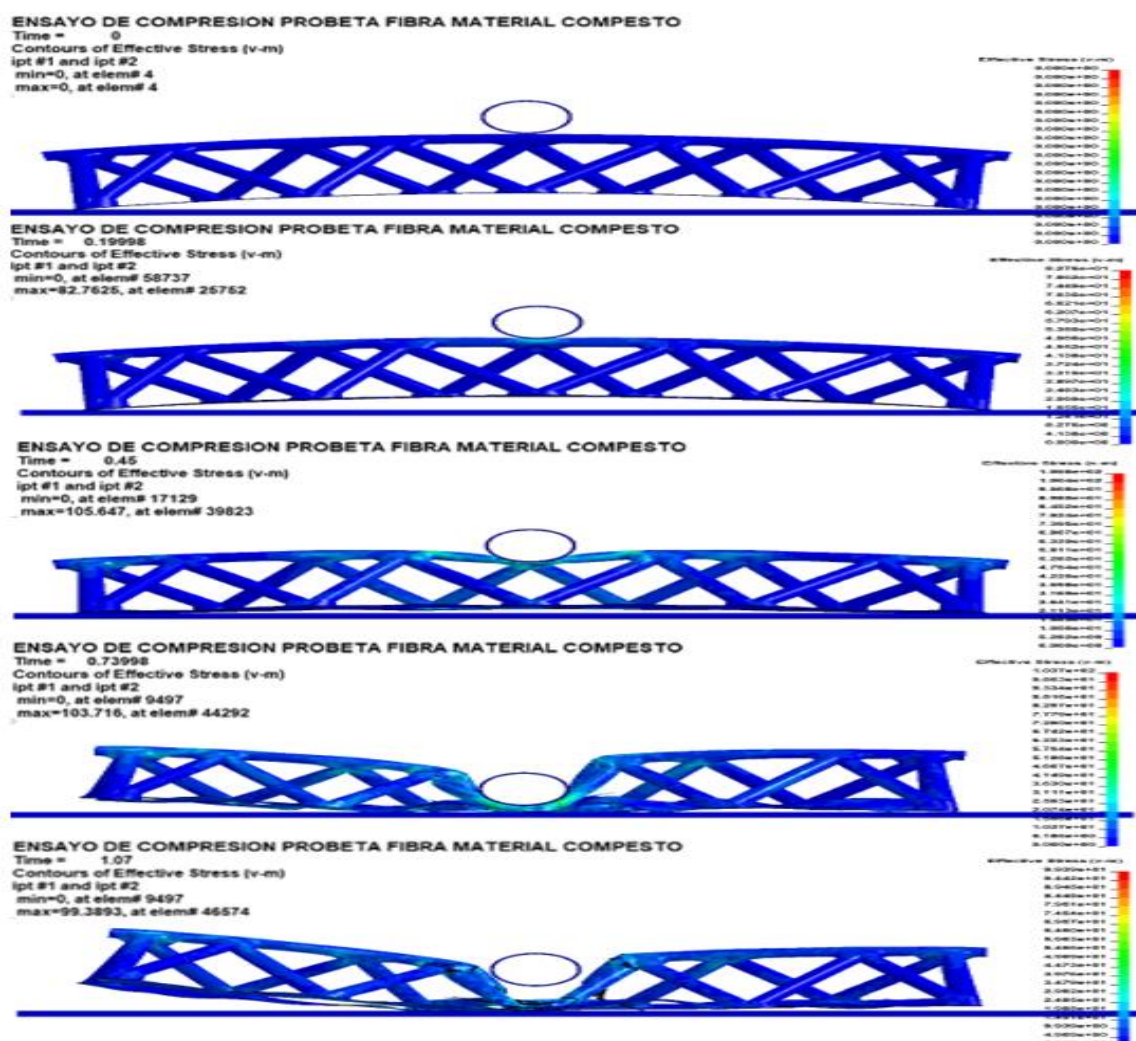


Figura 3.20. Ensayo probeta de material compuesto, grafico esfuerzo combinado de Von Mises, en esfuerzo máximo
(Autores)

En la simulación al finalizar la aplicación de la carga por medio del cilindro, se pudo apreciar que la probeta sufrió una prominente deformación en la parte central como se muestra en la

figura 3.16, siendo este resultado diferente al que se obtuvo por medio del ensayo de compresión real, por lo que se realiza el siguiente análisis. En el ensayo real la probeta se rompe en sus bases, esto es debido a que las capas de fibra de cabuya y resina al ser difícil su colocación en dichas partes representaban zonas de poca resistencia estructural y debido a esta anomalía estas partes se rompieron al momento de aplicar la carga de compresión efectuada en la máquina universal.

Al realizar un análisis con simulación computacional de los esfuerzos combinados de Von Mises podemos observar en la figura 3.17 que el tiempo 0.499 segundos antes que la estructura se rompa el esfuerzo máximo se distribuye en las bases de los refuerzos triangulares, porque es en este momento en el que las bases defectuosas se rompen en el modelo real, esto no sucede en la simulación debido a que el material y la capas están configuradas de manera homogénea.

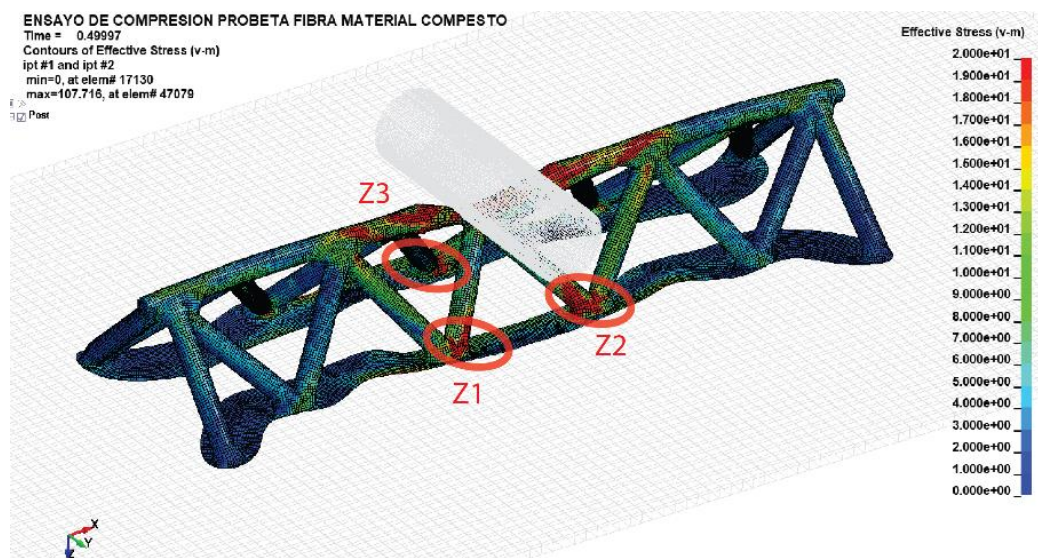


Figura 3.21. Simulación ensayo computacional en la probeta del material compuesto
(Autores)

CAPITULO IV

4. Conclusiones Y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

En el proceso de selección del material compuesto idóneo para el desarrollo de la investigación, la fibra de cabuya con resina epoxi fue el material con mayor ponderación del recopilatorio de los diversos materiales y a su vez por las características que contiene el material se prestó para la elaboración de los distintos procesos que se realizan en la investigación, tanto desde el ámbito computacional hasta el proceso de manufactura.

Mediante el uso de software CAD (SolidWorks) se propuso tres prototipos de elementos estructurales con diferentes triangulaciones geométricas en base a los resultados obtenidos de la simulación de optimización topológica por el software Ansys Beta Cae , que por medio de un proceso de selección simulado (con la ayuda del software CAE LS-Dyna) se seleccionó el mejor prototipo para la investigación, el cual, el prototipo A presento mejores condiciones y conjuntamente una menor deformación que los demás modelos propuestos.

Se realizó el análisis estructural a los diferentes modelos de la investigación como fueron el bumper original y optimizado por medio de un software CAE, este último se aplicó las condiciones del material idóneo seleccionado (fibra de cabuya y resina epóxica) y además de un material con mejores propiedades mecánicas (fibra de carbono), con el fin de tener resultados diferentes para una comparación, en donde los tres modelos diferentes se los simuló en condiciones bajo un mismo escenario siendo el material compuesto idóneo el de resultados no óptimos en relación a los demás.

Se manufacturó el modelo más idóneo con el material compuesto elegido y se validó los resultados de la simulación CAE mediante un ensayo experimental dando como resultado que el prototipo fabricado con fibra de cabuya/resina epoxi y optimizado topológicamente no cumple con los parámetros de esfuerzos para aplicarse en compuestos estructurales automotrices.

4.2. Recomendaciones

Para futuras investigaciones no se recomienda aplicar el material compuesto idóneo de la investigación (material de resina epoxi y fibra de cabuya) en partes estructurales automotrices que pudieran estar sometidos a grandes esfuerzos como se apreció en la investigación donde se obtuvo un resultado desfavorable en comparación al material de fábrica y el material sintético.

Se recomienda profundizar el análisis y aplicación de materiales compuestos enfocados a soportar grandes esfuerzos e incorporar investigaciones futuras de caracterizaciones con materiales compuestos con mejores propiedades mecánicas de la investigación ya que no se descarta que aparezca un material que sea idóneo a utilizarse dentro de la parte estructural automotriz.

Se recomienda tomar más importancia al estudio de software computacional relacionado con el diseño y simulación de elementos finitos, ya que en la actualidad brinda un gran apoyo a la industria automotriz con respecto al modelado de piezas mecánicas, además de ahorrar tiempo al momento de obtener resultados confiables.

Para futuras investigaciones relacionadas con el diseño y simulación se recomienda tener un equipo tecnológico con mejores características técnicas, que tengan una buena compatibilidad al momento de ejecutar los distintos programas CAD/CAE, ya que los equipos comunes podrían realizar procesos de forma lenta, producirse errores de resultados y hasta daños de este.

Con respecto al estudio se recomienda profundizar y continuar con la investigación de materiales compuesto que podrían ser aplicados en estructuras automotrices, si bien es cierto los resultados no fueron los esperados porque el material usado tuvo una deformación considerable, si hay otros materiales compuestos con mejores características mecánicas que podrían ser puestos a prueba en soportan esfuerzos considerables y analizar sus resultados.

Se recomienda anexar o replantear las normas INEN que estén relacionadas con la investigación o caracterización de materiales compuestos ya que en el ensayo físico no se

obtuvo una normativa clara para ensayar el prototipo final porque el mismo tiene medidas diferentes a las planeadas para las probetas que se usan en las caracterizaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AIMPLAS. (2016). Tipos de materiales compuestos.
- Analuiza, O., & Salán, L. (2019). *Análisis de la influencia de las pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales del Ecuador bajo norma ASTM* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30243>
- Aperador, W., Bautista, J., & Delgado, A. E. (2015). Evaluación de las propiedades mecánicas de materiales compuestos elaborados a partir de cenizas volantes y polímeros reciclados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 79–92. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n27a5>
- Área Tecnológica. (2017). Estructuras Que son, Tipos, Esfuerzos Aprende Facil.
- Arroba, C., & Telenchana, M. (2020). *Análisis numérico experimental de los componentes del material compuesto alternativo de matriz epoxi reforzada con fibras sintéticas utilizado para la fabricación y reparación de superficies de vuelo en las aeronaves del CIDFAE* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30654>
- Artaza Coro, F. Y., & Olivos Solís, S. R. (2021). Determinación del comportamiento estructural del perfil en I elaborado de fibra de madera de densidad media (MDF) y fibra de vidrio aplicado a un invernadero de Camposol (Universidad Privada Antenor Orrego). Retrieved from <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7867>
- Askeland, D. R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los materiales. In *Ciencia e ingeniería de los materiales*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Automexico. (2019). ¿Qué es un chasis? Cuáles son los tipos de chasis automotriz que hay y las partes de un chasis?
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2017). ¿Hacia dónde debe dirigirse la enseñanza de la Ciencia de Materiales? *Educación Química*, 28(2), 107–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.10.002>
- Castro, C., & Freire, O. (2019). *Análisis de la incidencia de retardantes de llama (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) en las propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de vidrio utilizado en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from

- <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29537>
- Castro, M. (2020, November 23). Las partes de la estructura de un chasis. Retrieved March 28, 2022, from Automexico website: <https://automexico.com/mantenimiento/que-es-un-chasis-de-carro-aid5447>
- Chuqui Cabanillas, A. J., & Fernandez Diaz, J. A. (2019). Diseño estructural de un complejo polideportivo ubicado en el distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, departamento de San Martín (Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto). Retrieved from <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3389>
- Composites, N. (2016). Materiales Compuestos.
- Cueva, E. (n.d.). Presentación de power point: Fundamentos que sustentan el empleo de l...
- Dassault Systèmes. (2010). Materiales isotrópicos y ortotrópicos. Http://Help.Solidworks.Com/2010/Spanish/SolidWorks/Cosmosxpresshelp/AllContent/SolidWorks/NonCore/SimulationXpress/C_Orthotropic_Material.Html, 1.
- Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*.
- DbPedia. (2020). Material ortótropo.
- Dominguez, M. (2018). MATERIALES ISOTRÓPICOS Y ANISOTRÓPICOS.
- Eduardo, B.-J., Miguel Pedro, R.-O., Bogart Camille, M.-U., & Claudia Marcela, G.-B. (2013). Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibradora**Citación estilo Chicago Botero-Jaramillo, Eduardo, Miguel Pedro Romo-Organista, Bogart Camille Méndez-Urquidez, Claudia Marcela González-Blandon. *Desarroll. Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(4), 595–611. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(13\)72269-8](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(13)72269-8)
- España, I. de S. P. de. (2011). CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS.
- Espín, S., & Espín, C. (2018). *Obtención de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja para evaluar el comportamiento mecánico* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27000>
- Espín, S., & Pazmiño, C. (2018). *Caraterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de hoja de Yucca Elephantipes para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27671>

- Espín, S., & Reinoso, A. (2019). *Evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster con fibra de cabello humano y su posible aplicación industrial* (Universidad Técnica de Ambato). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29869>
- Espín, S., & Vargas, P. (2018). *Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de tuna en usos industriales* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27447>
- Espinoza Beltrán, G. E., & Hidalgo Pacheco, J. A. (2016). *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplace tipo Formula SAE*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA.
- EURO NCAP. (2018). PEDESTRIAN TESTING PROTOCOL. *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP)*, 8.4(November 2017), 52.
- Experimental, D. (2017). *Capítulo 5 Desarrollo Experimental*. 73–90.
- Federación de enseñanza de CC OO de Andalucía. (2011). Tipos De Esfuerzos Físicos. *Temas Para La Educacion*, 1–18.
- Feijoo Calle, E. P., & Botina Arévalo, Y. A. (2019). *Alternativa de uso del PET con agregados (arena) en Fortificación Minera, mediante la caracterización de Resistencia a la Flexión* (Universidad del Azuay). Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8933>
- Figal, G. de la. (2011). *García de la Figal, Javier 1 Capítulo 1*.
- FirstStop, M. S. (2019, April 30). ¿Qué elementos incluye la seguridad pasiva del vehículo? Retrieved March 28, 2022, from Decaminofirststop website: <https://decamino.firststop.es/blog/qué-elementos-incluye-la-seguridad-pasiva-del-vehículo>
- Flores, P. D. V. (2018). APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES. *Universidad Técnica de Ambato*, 1(2). <https://doi.org/10.20961/ge.v4i1.19180>
- Fontboté, L. (2019). Recursos minerales del futuro. *ProExplo, XICONGRESO INTERNAL*, 22–26. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Lluis_Fontbote/publication/333997881_Recursos_minerales_del_futuro/links/5d7fdbf6458515fca16de93b/Recursos-minerales-del-

futuro.pdf

- Freire Quinga, E. P., & Carrillo Rosero, C. M. (2021). *Proceso tecnológico para la fabricación de un aislante térmico mediante la reutilización de residuos de material compuesto de matriz de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio* (Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Mecánica Mención Manufactura). Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33059>
- Galicia, X. de. (2014). Esfuerzos.
- González, V., Barrios Padura, Á., & Molina Huelva, M. (2017). *Proyectos de rehabilitación estructural. La sostenibilidad de los refuerzos con materiales compuestos*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11441/59089>
- Granda Garcia, L. A. (2016). Evaluación de las propiedades de materiales compuestos fabricados a partir de fibras semiquímicas de *Leucaena collinsii* y polipropileno. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*. Retrieved from <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/13401>
- Hello Insurance Group. (2021). ¿Qué es Euroncap? - Glosario de mecánica | Hello Auto. Retrieved October 19, 2021, from Hello Auto website: <https://helloauto.com/glosario/euroncap>
- Ingeniero Mecánico, D., & Fernando Machado Machado, A. (2019). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz elastomérica reforzado con fibra de cabuya para determinar las propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30015>
- INTEF. (2018). Fuerza de Inercia. Retrieved March 21, 2022, from Bachillerato website: http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/finercia/quees.htm
- Leon-medina, J. X., Julieta, L., & Topológica, C. O. (2018). *Jersson Xavier Leon-Medina , Leydi Julieta Cardenas-Flechas To cite this version : HAL Id : hal-01715677*.
- Liu, Y., & Ding, L. (2020). *YANJIE LIU et al: A STUDY OF USING DIFFERENT CRASH BOX TYPES IN AUTOMOBILE FRONTAL A Study of using Different Crash Box Types in Automobile Frontal Collision*. <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.17.38.21>
- López Menéndez, A. (2015). Nueva metodología de ensayo para la caracterización a fractura en modo III de materiales compuestos laminados (Universidad de Oviedo). Retrieved from <http://hdl.handle.net/10651/37450>

- Madrid, U. T. de. (2019). *Fibras y Matrices. - Materiales Compuestos 145006507 - UPM - StuDocu.*
- Milla, J. C. L. (2018). *Caracterización de un material compuesto de fibra de coco y matriz de resina epoxi.* 3(4), 7–11.
- Molina, J., & Gaibor Chacha, E. R. (2017). *CARACTERIZACION DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ DE RESINA DE POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULA DE TOTORA* (Universidad Internacional SEK Ecuador). Retrieved from <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2540>
- Mopar. (2019). 2014-2018 Jeep Cherokee Front Bumper Beam 68096072AB | My Mopar Parts.
- Moral, Alberto Borque, M. N. L. (2007). *MATERIALES DE ULTIMA GENERACION Y MATERIALES EFICIENTES: MATERIALES COMPUESTOS-COMPOSITES.*
- Nava, A., Hernandez, M. S., Gonzale, B., & Gomez, K. (2018, September). Análisis comparativo de laminados de materiales compuestos para la aplicación de prótesis transtibial. *XXIV Congreso Internacional Anual de La SOMIM*, 42–46. Retrieved from http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A2_87.pdf
- Nicolalde González, J. F. (2018). *Caracterización de la fibra natural de mocora para refuerzo de un material compuesto de resina poliéster insaturado para aplicaciones automotrices y aeroespaciales.* (Universidad Internacional SEK). Retrieved from <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3142>
- Nisbett, R. G. B. y J. K. (2012). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley.* 400.
- Ortiz, M., & Osorio, M. (2019). *Estudio del comportamiento mecánico de un material compuesto con matriz de polipropileno al añadir partículas de cascarilla de Oryza Sativa (arroz)* (ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL). Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20608>
- Pacha Guashco, S. S. (2016). *Caracterización Mecánica Y Numérica Del Material Híbrido De Matriz Epoxi Reforzada Con Tejido Plano De Fibra Vegetal (Algodón) Y Fibra Natural (Fibra De Cabuya).*
- Pachacama Nasimba, V. P. (2015). *Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta mazda bt50 2010* (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE). Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10129>
- Paredes, J. G. (2012). *Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster*

- Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses. *Sistemas Inteligentes Para Domicilios y Edificios.*, 10.
- Paredes Salinas, J. G., Pérez Salinas, C. F., & Castro Miniguano, C. B. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Enfoque UTE*, 8(3), 1–15. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
- Paredes Salinas, J., Pérez Salinas, C., & Castro Miniguano, C. (2017, June). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Universidad Tecnológica Equinoccial*, 1–15. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
- Pérez, C., Paredes, J., Lalaleo, E., Arroba, C., & Núñez, D. (2017). NUMERICAL / EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATRIX COMPOUND REINFORCED POLYESTER WITH RICE KNOCK ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ RESU. In *Revista CIENCIA* (Vol. 19).
- Pertuz, A., González-estrada, O. A., Gómez, D. A. M., Diaz, M., Becerra, J. S. L., Pertuz, A., ... León, J. S. (2019). Estudio de la fatiga en láminas de tubería compuesta de matriz epóxica con fibra de vidrio para cargas de tracción. *Scientia et Technica*, 23(4), 479–489. <https://doi.org/10.22517/23447214.18531>
- Pirineos, T. (2014). Tecnología Pirineos: Esfuerzos. Tipos de esfuerzos.
- Ponce, L. (2020). *Caracterización de un material compuesto a base de Resina Epóxica reforzado con fibra de cabuya comparado con la misma resina reforzado con fibra de caña de azúcar* (Universidad Técnica del Norte). Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10299>
- Quiroz, C., & Castro, L. (2018). *Elaboración de un material compuesto utilizando nanofibra de carbono por termoconformado*. Universidad Técnica del Norte .
- Rocha Hoyos, J. C., Llanes Cedeño, E. A., Peralta Zurita, D., & Pucha Tambo, M. (2019). Caracterización mecánica a flexión de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D. *Ingenius*, (22), 100–112. <https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.10>
- Ruta, P. (2019). Tipos de carrocería y características de seguridad | Pruebaderuta.com.

- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. 84. Retrieved from http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Toapanta, L. (2018). *CARACTERIZACIÓN MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28978>
- Tuárez, D., & Correa, G. (2019). *Caracterización de un compuesto de madera plástica obtenido mediante extrusión y reforzado con polvo de bambú y nanoarcillas* (ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL). Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19937>
- Vaca, W., & Mazón, P. (2018). *Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28763>
- Valencia, C. A. M. (2012). Optimización topológica en el diseño de elementos estructurales mecánicos. 25–1), 6(7, □□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□ □□□□ □□□□.
- AIMPLAS. (2016). Tipos de materiales compuestos.
- Analuiza, O., & Salán, L. (2019). *Análisis de la influencia de las pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales del Ecuador bajo norma ASTM* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30243>
- Aperador, W., Bautista, J., & Delgado, A. E. (2015). Evaluación de las propiedades mecánicas de materiales compuestos elaborados a partir de cenizas volantes y polímeros reciclados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 79–92. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n27a5>
- Área Tecnológica. (2017). Estructuras Que son, Tipos, Esfuerzos Aprende Facil.
- Arroba, C., & Telenchana, M. (2020). *Análisis numérico experimental de los componentes del material compuesto alternativo de matriz epoxi reforzada con fibras sintéticas utilizado para la fabricación y reparación de superficies de vuelo en las aeronaves del CIDFAE* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from

- <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30654>
- Artaza Coro, F. Y., & Olivos Solís, S. R. (2021). Determinación del comportamiento estructural del perfil en I elaborado de fibra de madera de densidad media (MDF) y fibra de vidrio aplicado a un invernadero de Camposol (Universidad Privada Antenor Orrego). Retrieved from <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7867>
- Askeland, D. R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los materiales. In *Ciencia e ingeniería de los materiales*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Automexico. (2019). ¿Qué es un chasis? Cuáles son los tipos de chasis automotriz que hay y las partes de un chasis?
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2017). ¿Hacia dónde debe dirigirse la enseñanza de la Ciencia de Materiales? *Educación Química*, 28(2), 107–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.10.002>
- Castro, C., & Freire, O. (2019). *Análisis de la incidencia de retardantes de llama (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) en las propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de vidrio utilizado en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29537>
- Castro, M. (2020, November 23). Las partes de la estructura de un chasis. Retrieved March 28, 2022, from Automexico website: <https://automexico.com/mantenimiento/que-es-un-chasis-de-carro-aid5447>
- Chuqui Cabanillas, A. J., & Fernandez Diaz, J. A. (2019). Diseño estructural de un complejo polideportivo ubicado en el distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, departamento de San Martín (Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto). Retrieved from <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3389>
- Composites, N. (2016). Materiales Compuestos.
- Cueva, E. (n.d.). Presentación de power point: Fundamentos que sustentan el empleo de l...
- Dassault Systèmes. (2010). Materiales isotrópicos y ortotrópicos. Http://Help.Solidworks.Com/2010/Spanish/SolidWorks/Cosmosxpresshelp/AllContent/SolidWorks/NonCore/SimulationXpress/C_Orthotropic_Material.Html, 1.
- Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*.
- DbPedia. (2020). Material ortótropo.

- Dominguez, M. (2018). MATERIALES ISOTRÓPICOS Y ANISOTRÓPICOS.
- Eduardo, B.-J., Miguel Pedro, R.-O., Bogart Camille, M.-U., & Claudia Marcela, G.-B. (2013). Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibradora**Citación estilo Chicago Botero-Jaramillo, Eduardo, Miguel Pedro Romo-Organista, Bogart Camille Méndez-Urquidez, Claudia Marcela González-Blandon. *Desarroll. Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(4), 595–611. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(13\)72269-8](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(13)72269-8)
- España, I. de S. P. de. (2011). CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS.
- Espín, S., & Espín, C. (2018). *Obtención de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja para evaluar el comportamiento mecánico* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27000>
- Espín, S., & Pazmiño, C. (2018). *Caraterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de hoja de Yucca Elephantipes para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27671>
- Espín, S., & Reinoso, A. (2019). *Evaluación del comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster con fibra de cabello humano y su posible aplicación industrial* (Universidad Técnica de Ambato). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29869>
- Espín, S., & Vargas, P. (2018). *Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de tuna en usos industriales* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27447>
- Espinoza Beltrán, G. E., & Hidalgo Pacheco, J. A. (2016). *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplace tipo Formula SAE*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA.
- EURO NCAP. (2018). PEDESTRIAN TESTING PROTOCOL. *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP)*, 8.4(November 2017), 52.
- Experimental, D. (2017). *Capitulo 5 Desarrollo Experimental*. 73–90.
- Federación de enseñanza de CC OO de Andalucía. (2011). Tipos De Esfuerzos Físicos. *Temas Para La Educacion*, 1–18.

- Feijoo Calle, E. P., & Botina Arévalo, Y. A. (2019). *Alternativa de uso del PET con agregados (arena) en Fortificación Minera, mediante la caracterización de Resistencia a la Flexión* (Universidad del Azuay). Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8933>
- Figal, G. de la. (2011). *García de la Figal, Javier 1 Capítulo 1*.
- FirstStop, M. S. (2019, April 30). ¿Qué elementos incluye la seguridad pasiva del vehículo? Retrieved March 28, 2022, from Decaminofirststop website: <https://decamino.firststop.es/blog/qué-elementos-incluye-la-seguridad-pasiva-del-vehículo>
- Flores, P. D. V. (2018). APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES. *Universidad Técnica de Ambato*, 1(2). <https://doi.org/10.20961/ge.v4i1.19180>
- Fontboté, L. (2019). Recursos minerales del futuro. *ProExplo, XICONGRESO INTERNAL*, 22–26. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Lluis_Fontbote/publication/333997881_Recurso_s_minerales_del_futuro/links/5d7fdbf6458515fca16de93b/Recursos-minerales-del-futuro.pdf
- Freire Quinga, E. P., & Carrillo Rosero, C. M. (2021). *Proceso tecnológico para la fabricación de un aislante térmico mediante la reutilización de residuos de material compuesto de matriz de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio* (Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Mecánica Mención Manufactura). Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33059>
- Galicia, X. de. (2014). Esfuerzos.
- González, V., Barrios Padura, Á., & Molina Huelva, M. (2017). *Proyectos de rehabilitación estructural. La sostenibilidad de los refuerzos con materiales compuestos*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11441/59089>
- Granda García, L. A. (2016). Evaluación de las propiedades de materiales compuestos fabricados a partir de fibras semiquímicas de *Leucaena collinsii* y polipropileno. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*. Retrieved from <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/13401>
- Hello Insurance Group. (2021). ¿Qué es Euroncap? - Glosario de mecánica | Hello Auto.

- Retrieved October 19, 2021, from Hello Auto website:
<https://helloauto.com/glosario/euroncap>
- Ingeniero Mecánico, D., & Fernando Machado Machado, A. (2019). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz elastomérica reforzado con fibra de cabuya para determinar las propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30015>
- INTEF. (2018). Fuerza de Inercia. Retrieved March 21, 2022, from Bachillerato website:
http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/finercia/quees.htm
- Leon-medina, J. X., Julieta, L., & Topológica, C. O. (2018). *Jersson Xavier Leon-Medina , Leydi Julieta Cardenas-Flechas To cite this version : HAL Id : hal-01715677.*
- Liu, Y., & Ding, L. (2020). *YANJIE LIU et al: A STUDY OF USING DIFFERENT CRASH BOX TYPES IN AUTOMOBILE FRONTAL A Study of using Different Crash Box Types in Automobile Frontal Collision.* <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.17.38.21>
- López Menéndez, A. (2015). Nueva metodología de ensayo para la caracterización a fractura en modo III de materiales compuestos laminados (Universidad de Oviedo). Retrieved from <http://hdl.handle.net/10651/37450>
- Madrid, U. T. de. (2019). Fibras y Matrices. - Materiales Compuestos 145006507 - UPM - StuDocu.
- Milla, J. C. L. (2018). *Caracterización de un material compuesto de fibra de coco y matriz de resina epoxi.* 3(4), 7–11.
- Molina, J., & Gaibor Chacha, E. R. (2017). *CARACTERIZACION DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ DE RESINA DE POLIÉSTER REFORZADO CON PARTÍCULA DE TOTORA* (Universidad Internacional SEK Ecuador). Retrieved from <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2540>
- Mopar. (2019). 2014-2018 Jeep Cherokee Front Bumper Beam 68096072AB | My Mopar Parts.
- Moral, Alberto Borque, M. N. L. (2007). *MATERIALES DE ULTIMA GENERACION Y MATERIALES EFICIENTES: MATERIALES COMPUESTOS-COMPOSITES.*
- Nava, A., Hernandez, M. S., Gonzale, B., & Gomez, K. (2018, September). Análisis comparativo de laminados de materiales compuestos para la aplicación de prótesis transtibial. *XXIV Congreso Internacional Anual de La SOMIM*, 42–46. Retrieved from http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A2_87.pdf


- Nicolalde González, J. F. (2018). *Caracterización de la fibra natural de mocora para refuerzo de un material compuesto de resina poliéster insaturado para aplicaciones automotrices y aeroespaciales*. (Universidad Internacional SEK). Retrieved from <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3142>
- Nisbett, R. G. B. y J. K. (2012). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. 400.
- Ortiz, M., & Osorio, M. (2019). *Estudio del comportamiento mecánico de un material compuesto con matriz de polipropileno al añadir partículas de cascarilla de Oryza Sativa (arroz)* (ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL). Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20608>
- Pacha Guashco, S. S. (2016). *Caracterización Mecánica Y Numérica Del Material Híbrido De Matriz Epoxi Reforzada Con Tejido Plano De Fibra Vegetal (Algodón) Y Fibra Natural (Fibra De Cabuya)*.
- Pachacama Nasimba, V. P. (2015). *Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta mazda bt50 2010* (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE). Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10129>
- Paredes, J. G. (2012). Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses. *Sistemas Inteligentes Para Domicilios y Edificios.*, 10.
- Paredes Salinas, J. G., Pérez Salinas, C. F., & Castro Miniguano, C. B. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Enfoque UTE*, 8(3), 1–15. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
- Paredes Salinas, J., Pérez Salinas, C., & Castro Miniguano, C. (2017, June). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Universidad Tecnológica Equinoccial*, 1–15. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
- Pérez, C., Paredes, J., Lalaleo, E., Arroba, C., & Núñez, D. (2017). NUMERICAL / EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATRIX COMPOUND REINFORCED POLYESTER WITH RICE KNOCK ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON

- CASCARILLA DE ARROZ RESU. In *Revista CIENCIA* (Vol. 19).
- Pertuz, A., González-estrada, O. A., Gómez, D. A. M., Diaz, M., Becerra, J. S. L., Pertuz, A., ... León, J. S. (2019). Estudio de la fatiga en láminas de tubería compuesta de matriz epóxica con fibra de vidrio para cargas de tracción. *Scientia et Technica*, 23(4), 479–489. <https://doi.org/10.22517/23447214.18531>
- Pirineos, T. (2014). Tecnología Pirineos: Esfuerzos. Tipos de esfuerzos.
- Ponce, L. (2020). *Caracterización de un material compuesto a base de Resina Epóxica reforzado con fibra de cabuya comparado con la misma resina reforzado con fibra de caña de azúcar* (Universidad Técnica del Norte). Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10299>
- Quiroz, C., & Castro, L. (2018). *Elaboración de un material compuesto utilizando nanofibra de carbono por termoconformado*. Universidad Técnica del Norte .
- Rocha Hoyos, J. C., Llanes Cedeño, E. A., Peralta Zurita, D., & Pucha Tambo, M. (2019). Caracterización mecánica a flexión de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D. *Ingenius*, (22), 100–112. <https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.10>
- Ruta, P. (2019). Tipos de carrocería y características de seguridad | Pruebaderuta.com.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. 84. Retrieved from http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_OK.compressed1.pdf
- Toapanta, L. (2018). *CARACTERIZACIÓN MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28978>
- Tuárez, D., & Correa, G. (2019). *Caracterización de un compuesto de madera plástica obtenido mediante extrusión y reforzado con polvo de bambú y nanoarcillas* (ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL). Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19937>
- Vaca, W., & Mazón, P. (2018). *Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales* (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO). Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28763>

Valencia, C. A. M. (2012). Optimización topológica en el diseño de elementos estructurales mecánicos. 25-1), 6(7, □□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□ □□□□ □□□□.

ANEXOS

Anexo II. Ensayo en el laboratorio INEN

 SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Edición: 05	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 1 de 2
---	---	----------------

INFORME DE RESULTADOS N° LE-2021-068 **FECHA:** 2021-02-09







INFORMACIÓN GENERAL			
N° SOLICITUD DE TRABAJO:	ST-2021-037		
ENTIDAD/EMPRESA ⁽¹⁾ :	Aguine Lenin y Guevan Ronald		
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:	2020-02-08	E-MAIL ⁽¹⁾ :	rdguevang@in.edu.ec
MUESTREO/TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR ⁽¹⁾ :	No Aplica	ACTA No. ⁽¹⁾ :	No Aplica

CARGA MÁXIMA				
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:	2021-02-08			
NORMA DE REQUISITOS ⁽¹⁾ :	No Aplica			
MÉTODO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	LE-PTE-G-18			
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:	LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES			
CONDICIONES AMBIENTALES:	Temperatura, °C:	No Aplica	Humedad Relativa, %:	No Aplica
EQUIPOS UTILIZADOS:	Máquina Universal. Código: 2499			
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	Prototipo basado en bumper de Toyota Yaris con material compuesto y optimizado topologicamente	MARCA ⁽¹⁾ :	No Aplica	
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:	OE-2021-037-01	CÓDIGO DE CLIENTE ⁽¹⁾ :	No Aplica	

Carga máxima kN	Carga máxima kgf	Observaciones
0,89	90,4	El objeto de ensayo presenta rotura en la base de la estructura

OBSERVACIONES: - Las fotografías del ensayo se muestran en el Anexo I

- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son exclusivos del mismo.
 - Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.









<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Realizado por:</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  CESAR GIOVANNY REYES ALARCON </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ing. César Reyes</td> </tr> </table>	Realizado por:	 CESAR GIOVANNY REYES ALARCON	Ing. César Reyes	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Autorizado por:</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  FRANKLIN PATRICIO VILLA FARINANGO </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ing. Franklin Villa</td> </tr> </table>	Autorizado por:	 FRANKLIN PATRICIO VILLA FARINANGO	Ing. Franklin Villa
Realizado por:							
 CESAR GIOVANNY REYES ALARCON							
Ing. César Reyes							
Autorizado por:							
 FRANKLIN PATRICIO VILLA FARINANGO							
Ing. Franklin Villa							

DIRECCIÓN - INEN: Autopista General Rumiñahui. Puente Patonal N° 5, 500 m a mano derecha. Barrio El Rosal.

LE-F-MC-07

(1) Información proporcionada por el cliente.

Figura A.I.0.1. Hoja técnica que especifica el proceso y parámetros del ensayo realizado en el laboratorio INEN

 <p>SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN</p>	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 2 de 2
Edición: 05		
ANEXO I		
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO: OE-2021-037-01		
		
		
		
OBSERVACIONES: Ninguna	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="850 1249 906 1305">  </div> <div data-bbox="906 1261 1010 1294"> <p>CESAR GIOVANNY REYES ALARCON</p> </div> <div data-bbox="1010 1249 1066 1305">  </div> <div data-bbox="1066 1261 1169 1294"> <p>FRANKLIN PATRICIO VILLA FAJUNANGO</p> </div> </div>	

LE-F-MC-07

Figura A.II.2. Hoja técnica donde se aprecia el resultado del ensayo en el prototipo

Anexo III. Artículo científico

ANÁLISIS DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA APLICACIÓN EN COMPONENTES ESTRUCTURALES AUTOMOTRICES.

Rommel Imbaquingo¹, Edwin S. Arroyo², Jorge L. Melo³, Lenin W. Aguirre⁴, Ronald D. Guevara⁵

¹ *Magister en Diseño Mecánico - Universidad Internacional SEK Ecuador, rpimbaquingo@utn.edu.ec, Ibarra – Ecuador*

² *Magister en Diseño Mecánico - Universidad Internacional SEK Ecuador, esarroyo@utn.edu.ec, Ibarra - Ecuador*

³ *Magister en construcción de automóviles y tractores - Universidad Técnica estatal de Moscú “MAMI” jlmelo@utn.edu.ec, Ibarra - Ecuador*

⁴ *Ingeniería en Mantenimiento Automotriz – Universidad Técnica del Norte, lbaguirreg@utn.edu.ec, Ibarra – Ecuador*

⁵ *Ingeniería en Mantenimiento Automotriz – Universidad Técnica del Norte, rdguevarag@utn.edu.ec, Ibarra – Ecuador*

Resumen. En el presente trabajo se enfocó en la aplicación de materiales compuestos en elementos estructurales mediante ensayos FEM y experimentales basados en la variación de diseños CAD con el fin de determinar si los materiales alternativos logran alcanzar las características mecánicas de un material homogéneo. El primer paso fue indagar varias caracterizaciones de materiales compuesto mediante un recopilatorio de investigaciones previamente realizadas con el fin de seleccionar el material más idóneo para el desarrollo del trabajo, que en este caso fue la fibra de cabuya con resina epóxica. Conjuntamente se realizó una optimización topológica al elemento estructural bumper mediante programas de simulación CAD y de esta forma diseñar (en base a los resultados de la optimización), varios prototipos que luego fueron sometidos a simulaciones mediante software CAE para seleccionar el modelo más apto. Una vez seleccionado el modelo se procedió a ingresar las propiedades de los materiales por medio del software CAE cabe mencionar que se ingresó tres tipos de materiales al prototipo (material original, fibra de cabuya con resina epóxica y fibra de carbono) esto con la finalidad de realizar un análisis comparativo y para poder determinar la fiabilidad del material. Para el proceso de validación se manufacturó el modelo más idóneo con el material compuesto elegido (resina epoxi y fibra de cabuya) y se validó los resultados de la simulación CAE mediante un ensayo experimental en los laboratorios INEN (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización) para realizar un análisis del prototipo fabricado y optimizado topológicamente, con el fin de determinar si el modelo cumple o no con los parámetros de esfuerzos en la aplicación de componentes estructurales automotrices.

Palabras Clave: Materiales compuestos, componentes estructurales automotrices, simulación, optimización topológica, ensayo experimental.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la aplicación de elementos estructurales ha ido en aumento y se ha realizado numerosos avances, haciéndola más interesante para implementar materiales compuestos que puedan cumplir con las normas de resistencia a esfuerzos, como también el avance tecnológico en diversos campos de producción por sus costos y lo amigable que resulta para el medio ambiente.

Los materiales compuestos al ser la unión de varios elementos (por medio de una matriz y un refuerzo que viene a ser fibras) para la obtención de un nuevo material con mejores propiedades mecánicas [1]; su aplicación da un importante aporte en la industria mecánica para los procesos de manufactura por ser económicos, livianos y de fácil desarrollo [2]. Por estos motivos se han hecho investigaciones tales como una prótesis de un miembro inferior [3], reparaciones en estructuras de hormigón [4]; autopartes del vehículo como una rejilla de ducto de aire [5], un capot [6], parachoques [7] guardabarros delantero [8], etc.; con la finalidad de determinar si los materiales compuestos presentan características similares a los del material primario.

La aplicación de los materiales compuestos dentro del área automotriz en el país está enfocada en su mayoría en temas de investigación donde se realizan caracterizaciones sometidos a ciertas pruebas de esfuerzos como: esfuerzos de tracción, flexión, torsión, cizallamiento y tensión. Como ejemplos de materiales alternativos que presentan buenas propiedades tenemos los siguientes:

- Resina Epoxi con fibra de carbono unidireccional [9], se obtuvo como resultados un esfuerzo máximo de tracción de 923MPa y flexión de 638MPa.
- Resina Epoxi (70%) con fibra de vidrio, guadua y algodón (30%) [10], se obtuvo como resultados un esfuerzo máximo de tracción 131MPa, flexión de 124MPa e impacto 3,29 J.
- Resina epoxi (50%) con fibra de vidrio (50%) [11], se obtuvo como resultados un esfuerzo máximo de tracción 365MPa, flexión de 188MPa e impacto 1,02 J.

Sin embargo, no se ha dado a conocer estudios de materiales compuestos encaminados a la elaboración de componentes estructurales automotrices.

Los elementos estructurales del vehículo son importantes en el diseño de un vehículo, influyen en el peso, seguridad activa y pasiva, optimización y aerodinámica [12]. En la actualidad el diseño de los autos existe mayor énfasis hacia la seguridad y una de las partes más importantes es el chasis por su enfoque constante a la resistencia de esfuerzos [13]. Pero se sabe que tanto como en la extracción, el proceso de manufactura de estas partes y la desinformación de la utilización correcta de estos recursos [14]; producen grandes impactos ambientales que actualmente la sociedad está optando por menguar.

El proyecto está enfocado en utilizar materiales compuestos en elementos estructurales automotrices buscando validar su uso o su posible remplazo. También de manera indirecta confrontar el problema de la contaminación gracias a su naturaleza orgánica ya que el material puede descomponerse, logrando así una reducción del impacto ambiental en los procesos industriales

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. METODOLOGÍA

La metodología en el presente trabajo consiste en realizar una indagación de diversas caracterizaciones de materiales compuestos que contribuya para la investigación, de las cuales, se identificará fuentes claves para la elaboración del trabajo tanto en el proceso tecnológico como en el físico. Luego de la selección del material idóneo se planteará varias propuestas de diseño para obtener una mayor profundización a la investigación y se realizará un análisis por medio de elementos finitos; de tal manera que, al llegar a la parte de la fabricación de la pieza estructural automotriz, se puede realizar una correcta interpretación de la información de forma descriptiva y experimental.

2.2. MATERIALES

Para el proceso de diseño, simulación y fabricación de los prototipos se utilizó herramienta computacional o software especializado con licencia educativa y también material como fibras y resinas comercializadas en nuestro medio con el propósito de agilizar el desarrollo y optimizar el procedimiento.

2.2.1. Equipos

A continuación, se detallan los equipos utilizados en el proceso del tema de estudio.

Tabla 1. Equipos utilizados

Numero	Detalle
1	Maquina Universal de Ensayos
1	Maquina Suelta C200i
1	Cortadora de tubos

Fuente: Autores

2.2.2. Herramientas

Las herramientas utilizadas son programas computacionales para el diseño y simulación de los prototipos.

Tabla 2. Herramientas utilizadas

Numero	Detalle
1	Solid Works (licencia educativa)
1	LS- DYNA (licencia educativa)
1	LS-PREPOST
1	ANSYS WORKBENCH BETA CAE (licencia educativa)

Fuente: Autores

2.2.3. Materiales

Los materiales utilizados para la construcción del prototipo son los detallados a continuación.

Tabla 3. Materiales utilizados

Cantidad	Detalle
6 kg	Fibra de cabuya
3 kg	Resina Epoxi
4	Tubos pvc ½ pulgada
4	Tubos galvanizados 1 ½ pulgada
1	Platina de metal de 60cmx40cm

Fuente: Autores

2.3 Proceso metodológico

Para el proceso metodológico primero se seleccionó el material compuesto ideal mediante un cálculo de ponderación. Al mismo tiempo se tomó como objeto de análisis el bumper frontal que es un componente estructural importante del automóvil y que estará expuesto a esfuerzos con base al análisis anteriormente mencionado. Se diseñó varias propuestas optimizadas con el objetivo de elegir el mejor prototipo mediante una comparación de resistencia estructural en software CAE, luego con el modelo ideal seleccionado se realizó ensayos CAE más profundos que posteriormente fueron validados mediante un ensayo físico y comparados con la información computacional para comprobar la viabilidad de la investigación. Adicionalmente hay que mencionar que también se realizó una propuesta con materiales compuestos súper resistentes como la fibra de carbono que se usó en el modelo idóneo.

2.4 Proceso de selección del material compuesto ideal

Para realizar la selección del material, se tiene en cuenta el número de caracterizaciones de materiales compuestos recopiladas desde el año 2018 hasta el 2020 dentro de la industria automotriz, donde se puede apreciar en la tabla 4 que se obtuvo 31 alternativas a elegir para el proyecto de investigación.

Tabla 4. Alternativas de materiales compuestos.

ALTERNATIVAS		
N°	MATRIZ	REFUERZO
I	Resina Epoxi (75%)	Fibra de cabuya (25%)
II	Resina Epoxi (60%)	Fibra de cabuya (40%)
III	Resina Epoxi	Fibra de carbono bidireccional
IV	Resina Epoxi	Fibra de carbono unidireccional
V	Resina Poliéster	Fibra de mocora
VI	Resina Poliéster Insaturada	Cascarilla de arroz
VII	Resina Poliéster (65%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (35%)
VIII	Resina Poliéster (65%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (35%)
IX	Resina Poliéster (75%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (25%)
X	Resina Poliéster (75%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (25%)
XI	Resina Poliéster (70%)	Fibra Corta De Yucca Elephantipes (30%)
XII	Resina Poliéster (70%)	Fibra Longitudinal De Yucca Elephantipes (30%)
XIII	Propileno (Tamiz N°60)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 5%)
XIV	Propileno (Tamiz N°100)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 10%)
XV	Propileno (Tamiz N°100)	Partículas De Cascarilla De Oryza Sativa (peso 15%)
XVI	Resina Epoxi (80%)	Fibra corta de propileno (20%)
XVII	Resina Epoxi (80%)	Fibra larga de propileno (20%)
XVIII	Resina Epoxi (75%)	Fibra corta de propileno (25%)
XIX	Resina Epoxi (70%)	Fibra larga de propileno (30%)

XX	Resina Epoxi (70%)	Fibra de vidrio, guadua y algodón (30%)
XXI	Elastomérica (20%)	Fibra de cabuya (80%)
XXII	Polímero	Polvo de bambú, nanoarcillas y polipropileno maleizado
XXIII	Resina poliéster (70%)	Fibra de lana de oveja (30%)
	Resina poliéster (60%)	Fibra de lana de oveja (40%)
XXIV	Resina epoxi (40%)	Fibra de carbono (60%)
XXV	Resina epoxi (59%)	Fibra de aramida (41%)
XXVI	Resina epoxi (50%)	Fibra de vidrio (50%)
XXVII	Resina Poliester (61%)	Fibra de Vidrio (30%)
XXVIII	Resina Poliester (70%)	Fibra de Cabello (30%)
XXIX	Resina Poliester (70%)	Fibra de Tuna (30%)
XXX	Resina Poliester (70%)	Fibra de cabuya (30%)
XXXI	Resina Poliester (70%)	Fibra de plátano (30%)

Fuente: Autores

El método que se utiliza es conocido como selección de opciones por multiplicación de matrices, el cual, es muy ideal aplicar para la selección del material compuesto al contar con varias alternativas. Para dichas alternativas se debe establecer distintas opciones de selección, en las cuales, deben ser factores determinantes ideales para la fabricación de la pieza estructural de la investigación.

Tabla 5. Factores para selección del material compuesto

FACTORES		Porcentaje para evaluar
A	Bajo costo para la fabricación	35%
B	Valores de esfuerzos del material	25%
C	Disponibilidad del material en el mercado	25%
D	Dificultad para el diseño	15%
TOTAL		100%

Fuente: Autores

Para cada alternativa se evalúa respectivamente con los diferentes factores de la tabla anterior, por medio de un rango de calificación del 1 al 10 (siendo 1 el valor más bajo y 10 excelente) y de esta manera obtener valores determinantes para continuar con la ponderación.

Para obtener los resultados de la tabla 6, primero se asume los valores en cada factor de selección con su alternativa, se realiza una sumatoria de cada factor para sacar el valor unitario de cada calificación. Seguido se debe tener en cuenta el porcentaje de cada factor dado y multiplicarlo por cada valor unitario. Se realiza una sumatoria de los valores obtenidos de cada alternativa y se multiplica por 100%, para conocer el porcentaje de cada alternativa. La alternativa con mayor porcentaje fue la seleccionada para la investigación.

Tabla 6. Resultados de la selección del material compuesto.

Alternativas	Factores de selección				Puntaje total (%)
	A	B	C	D	
I	0,0151	0,0086	0,0108	0,0051	4,0
II	0,0151	0,0086	0,0108	0,0051	4,0
III	0,0118	0,0115	0,0084	0,0045	3,6
...
XXXI	0,0101	0,0072	0,0072	0,0045	2,9

Fuente: Autores

En esta ocasión al tener dos alternativas se analizó las características mecánicas de ambas, el cual la alternativa II fue la ideal para el desarrollo de la investigación.

Hay que aclarar que se tomó en cuenta para fines comparativos de las simulaciones hechas al material compuesto de fibra de carbono ya que presentaba buenas características mecánicas dentro de las demás alternativas.

2.5 Optimización del bumper original

Como modelo base para el análisis se utilizó el diseño de un vehículo sedan marca Toyota modelo Yaris, se importó un modelado matemático ya existente y que se realizó mediante el programa LS-Dyna, este archivo tiene una extensión “.key” y se obtuvo de la página NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration). Se aisló el bumper del modelo diseñado para exportarlo al programa SolidWorks por medio de la “IGES”, esto con la finalidad de poder realizar un modelo sólido simplificado de la cara externa del atenuador y seguidamente exportar el modelo con extensión “parasolid” o “.x_t” para realizar una optimización topológica en la interfaz de Workbench de Ansys.

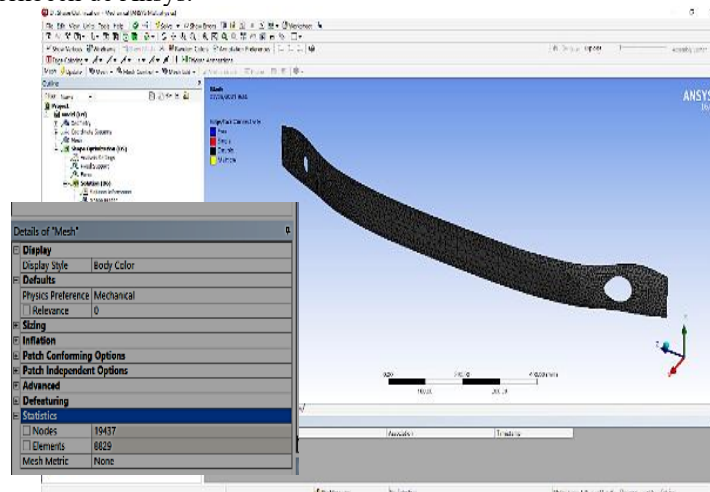


Figura 1. Malla de tipo “solid” tetraédrica con 19437 nodos y 8829 elementos (Autores)

Para poder ejecutar la optimización se utilizó la opción de “shape optimization” de Ansys, en el mismo se generó una malla de tipo “solid”, se asignó la restricción en los soportes que unen el atenuador y se utilizó una carga de 1000 N que representa una cifra estimada basada en un impacto frontal de un vehículo que tiene una masa de 1000kg con una desaceleración de 1 m/s [17]. Por medio del software se obtuvo los siguientes resultados.

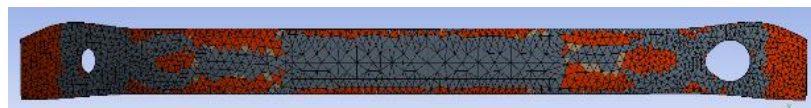


Figura 2. Optimización topológica de parte frontal de bumper (Autores)

Para el proceso de reducción del material en el cuerpo del bumper se optó por utilizar una estructura de nervaduras que a su vez se optimizó de la misma manera que el plano frontal, pero esta vez se realizó desde una vista superior.

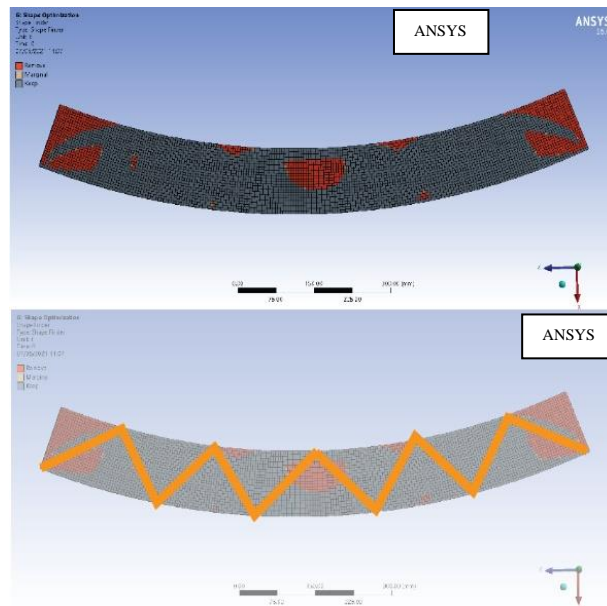


Figura 3. Triangulación para unir el atenuador con la base optimizada
(Autores)

Todo el proceso está relacionado con la optimización topológica completa y para unir estas dos optimizaciones se utilizó un ensamble hecho en el programa Solidworks, posteriormente se modeló las nervaduras utilizando conceptos orgánicos con una apropiada triangulación entre elementos gracias a la ayuda del software.

2.6 Proceso de selección del prototipo

Una vez que se obtuvo el área optimizada del modelo estudiado se aplicó en el software LSDYNA el material compuesto seleccionado con anterioridad, en el cual se necesita aplicar por medio de una carta de control las propiedades mecánicas de la fibra de cabuya y resina epoxi como es: RO que representa una densidad de $2.6 \times 10^{-9} \text{T/mm}$, E que es el módulo de elasticidad de 1550 MPa, PR es el radio de Poisson de 0.19 y Sy que vendría a ser el límite de fluencia de 0.008MPa.

Luego se propuso tres tipos de diseños con configuraciones triangulares orgánicas de fácil construcción, como se indica a continuación, se detalla los modelos de bumpers desarrollados para este estudio:

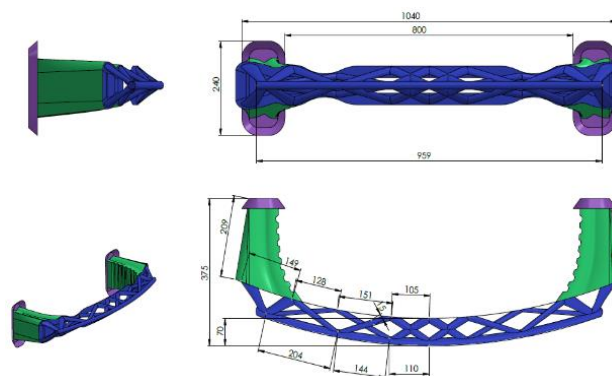


Figura 3. Dimensiones generales prototipo A
(Autores)

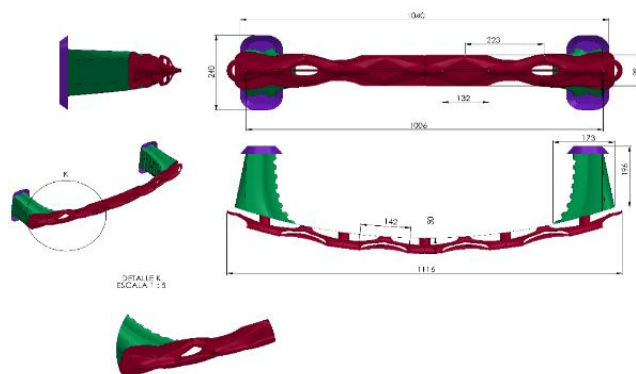


Figura 4. Dimensiones generales prototipo B
(Autores)

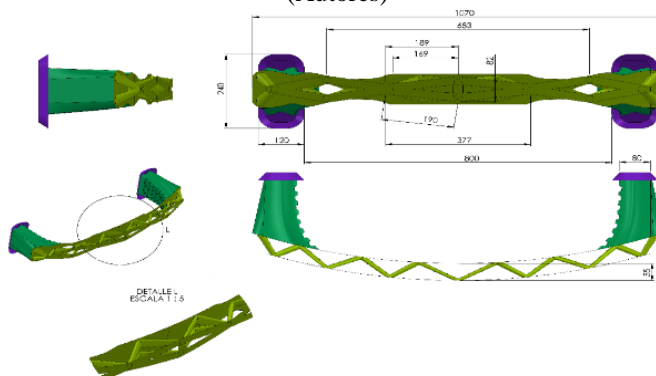


Figura 5. Dimensiones generales prototipo C
(Autores)

Se aplicó una malla de tipo Shell en dos dimensiones que tiene de longitud 10 mm a todos los prototipos. Seguido se analizó la malla por medio de los índices de calidad como el jacobiano, teniendo elementos que son permitidos en la simulación, evitando que exista errores de resultados o problemas en ejecutar el programa. Este valor debe ser mayor a 0,3.

Tabla 7. Calidad de malla con el índice Jacobiano

INDICE JACOBIANO	
PROTIPOS	INDICE
Modelo A	0,313
Modelo B	0,414
Modelo C	0,403

Fuente: Autores

Con el objetivo de seleccionar el prototipo con mayor resistencia al impacto con un cilindro que es la representación de colisión con la pierna de un peatón según las características que nos menciona la NCAP [18], tomando en cuenta a una velocidad de 40km/h, pero a dicha velocidad no se pudo apreciar la deformación de los prototipos ya que se fisuraban al instante, lo que llevo a cabo a ir reduciendo la velocidad cada 5km/h, pudiendo tener una mejor apreciación del comportamiento de los diferentes modelos diseñados con el material con respecto a la última velocidad mencionada.

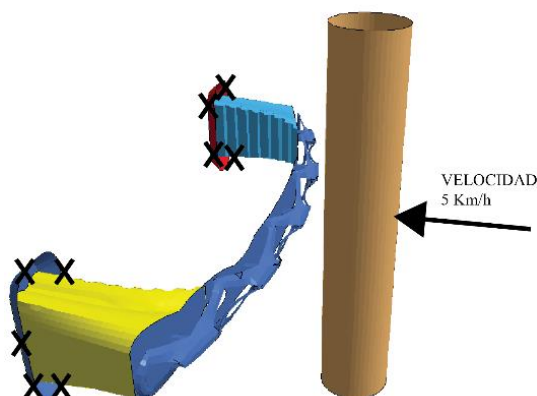


Figura 6. Condiciones de simulación plasmados en el modelo preliminar del bumper optimizado.
(Autores)

2.7 Condiciones para la simulación en LS-DYNA

Para las condiciones de la simulación se analizó la calidad de malla del material original (acero A36) donde el índice jacobiano fue de 0,647, lo cual está dentro de lo permitido para realizar las simulaciones.

Velocidad De Impacto

Se asigna la velocidad correspondiente a 11.111 mm/s (40 km/h) en dirección en x negativo, esta condición se agrega sobre todo los nodos del cilindro de impacto, utilizando la carta de control de control *INITIAL_VELOCITY_NODE.

Soportes Fijos

Se restringe los nodos en todos sus grados de libertad correspondientes a las bases que unen el atenuador con el bastidor del vehículo como se muestra en el gráfico, para esta condición se utiliza la carta de control *BOUNDARY_SPC_NODE.

Contactos

Se asigna un contacto de manera general para que entren en contacto todos los cuerpos al momento de producirse el impacto, se utiliza la carta de control *CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE activando el casillero SSTYP 5 correspondiente a un contacto entre todos los cuerpos.

Controles de simulación

Para los controles de simulación se activaron las siguientes cartas:

*CONTROL_HOURLASS se utiliza para controlar la energía no física de Hourglass (tensión del diseño sólido) que permanezca en valores aproximados a cero.

*CONTROL_SHELL se utiliza para que realice un control de los índices de calidad de malla durante la simulación.

*CONTROL_TERMINATION esta carta es obligatoria en esta se coloca la duración de la simulación, para todas las simulaciones es de 0.15 segundos.

*CONTROL_TIMESTEP esta carta de control asigna el tiempo entre cada uno de los ciclos de cálculo de la simulación, para las simulaciones se realizarán un ciclo de cálculo cada 0.000004 segundos.

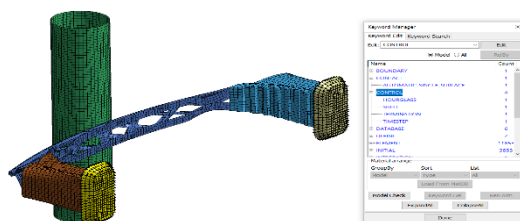


Figura 7. Gráfico de “Keyword Manager” correspondiente a la activación de cartas en LS-Dyna
(Autores)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la simulación de los prototipos

A. Simulaciones

Con las condiciones mencionadas juntamente con el mallado mencionados en el capítulo anterior se realizó el impacto con el cilindro a las tres propuestas, obteniendo resultados

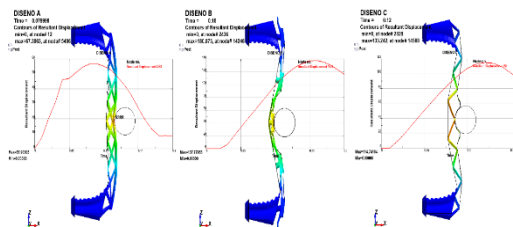


Figura 8. Atenuadores en la máxima deformación
(Autores)

En la siguiente tabla podemos visualizar los resultados obtenidos de la deformación, el esfuerzo máximo de Von Mises y el tiempo en el que se consideró analizar en el programa LS-Dyna previo a la decisión de elegir el prototipo ideal para la investigación.

Tabla 8. Resumen de resultados obtenidos en el programa LS-DYNA de los diferentes prototipos a elegir

RESULTADOS DE SIMULACIÓN			
Diseños	A	B	C
Unidades			
Tiempo (s)	0,0899	0,16	0,12
Esfuerzo máximo Von Mises (MPa)	125,73	156,221	105,649
Deformación máxima (mm)	67,3863	180,873	133,242

Fuente: Autores

Resultados Y Elección Del Mejor Prototipo

Al terminar las simulaciones de impacto con las condiciones detalladas anteriormente se concluyó que el diseño A es el más resistente debido a que presenta un desplazamiento de 56.9 mm en su estructura y un desplazamiento máximo del cilindro de 63.2 mm, comprobando así que el diseño A presenta una deformación 2.52 veces menor en comparación con el diseño B y una deformación 2.1 veces menor con el diseño C. Por esta razón se selecciona el diseño A para el desarrollo del estudio.

3.2 Resultados de las simulaciones del bumper original

En la figura 9 se puede observar la reacción que tuvo éste con un cilindro de impacto de 30Kg., donde, el atenuador de impactos a los 0.00999 segundos absorbe un esfuerzo de Von Mises máximo de 2361.69MPa, el cual al final presenta una leve deformación y posterior rebote del cilindro de impactado. A los 0.02 segundos cuando el cilindro de impacto empezó a alejarse del bumper, se aprecia que el esfuerzo de Von Mises se redujo hasta un 1806,14MPa y fue disminuyendo dicho esfuerzo como se puede observar a los 0.03 segundos.

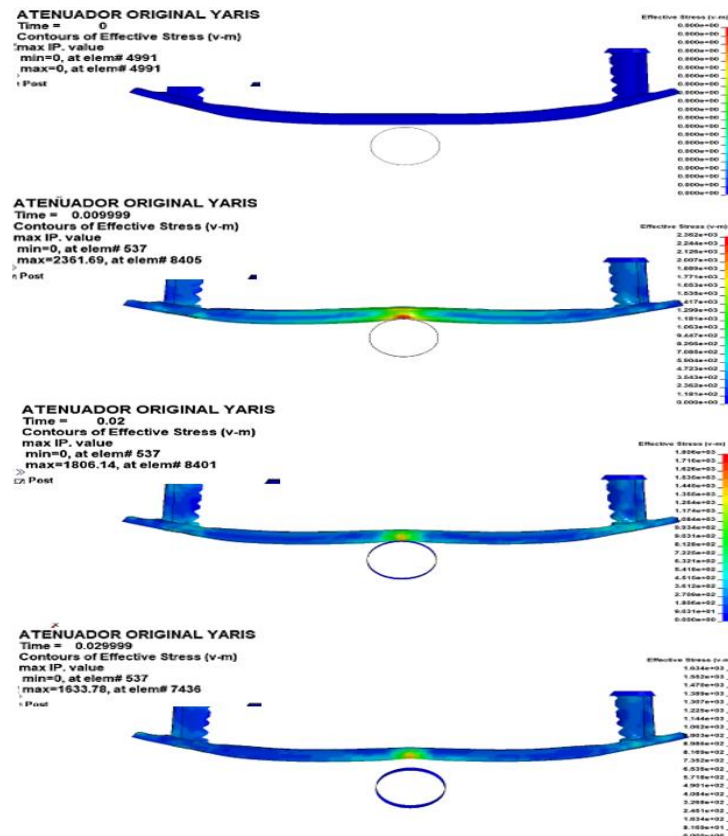


Figura 9. Simulación de impactado con el bumper original del vehículo Toyota Yaris en el programa ANSYS WORKBENCH (Autores)

3.3 Resultados de las simulaciones del Bumper Optimizado

A. Bumper Optimizado con fibra de cabuya

En la figura 10 se realiza la simulación del bumper a base de fibra de cabuya con el cilindro de impacto en donde se puede apreciar que sufre un esfuerzo máximo de Von Mises de 430.98 MPa a los 0,019998 segundos. En la simulación se produce una ruptura prominente del diseño del bumper como se puede observar a los 0.03 segundos.

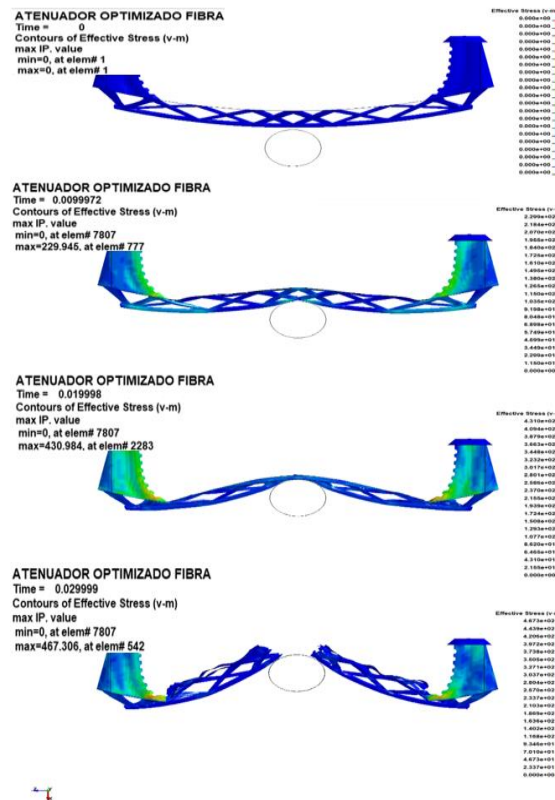


Figura 10. Simulación del diseño del bumper optimizado con el material compuesto de fibra de cabuya (Autores)

B. Bumper Optimizado Con Fibra De Carbono

En la figura 11 se realizó la simulación del bumper a base de carbono con el cilindro de impacto en donde se puede apreciar que sufrió un esfuerzo máximo de Von mises de 2613.29MPa a los 0,019998 segundos (mismo tiempo que la anterior simulación), el cual, con este material no sufre una ruptura en el lugar de impacto, pero si se pudo observar una gran deformación del atenuador antes de que el cilindro de impacto genere su acción de rebote a los 0.04 segundos y a su vez que el esfuerzo empezó a disminuir.

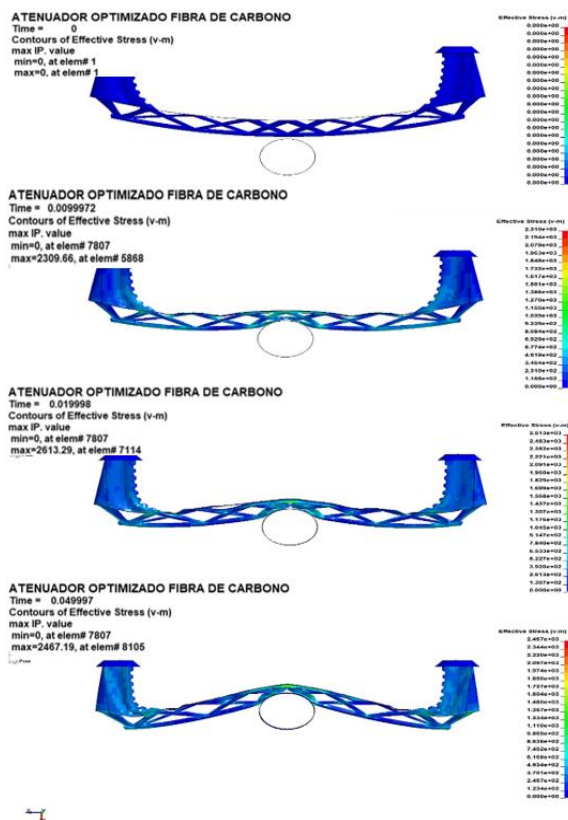


Figura 11. Simulación del diseño del bumper optimizado en base del material compuesto de fibra de carbono (Autores)

3.4 Resultados de las simulaciones en los tres modelos propuestos

En la figura 12 se puede observar los resultados obtenidos de la simulación ante un cilindro de impacto, en donde, para el material original el cilindro rebota dejando una leve deformación; la fibra de cabuya sufre una fisura notoria y no resiste al impacto y la fibra de carbono, el cual, tiene una mayor resistencia al impacto, pero a su vez se aprecia una gran deformación del elemento estructural a base de dicho material.

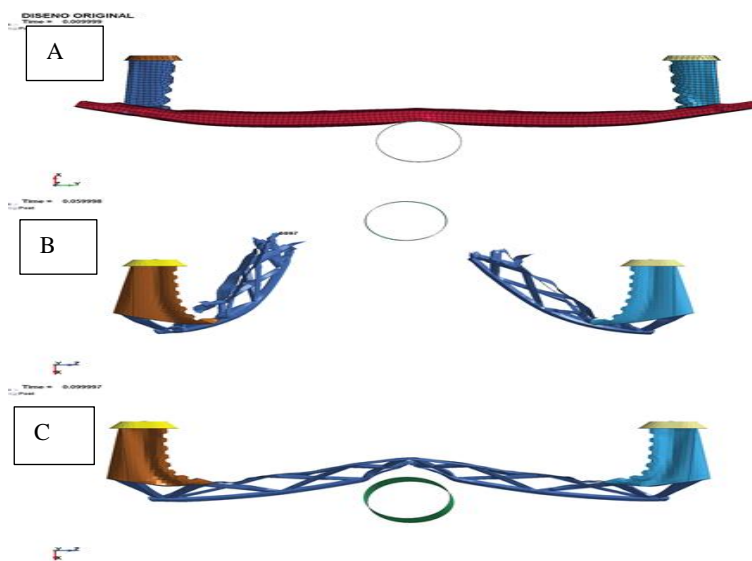


Figura 12. Vista superior de impacto del bumper para los diferentes diseños: A. diseño original; B. diseño de fibra de cabuya; y C. diseño de fibra de carbono (Autores)

Por medio la gráfica de la figura 13 se puede diferenciar el distinto comportamiento que tiene los diferentes diseños con los respectivos materiales. De esta manera se puede observar el desplazamiento del elemento mediante la simulación dentro de un tiempo determinado y con las condiciones ya antes mencionadas. El modelo que tienen un mayor desplazamiento con un valor máximo de 414.96 mm es el bumper con fibra de cabuya. A simple vista el material original es el que menos desplazamiento sufre a diferencia de la fibra de cabuya y la fibra de carbono.

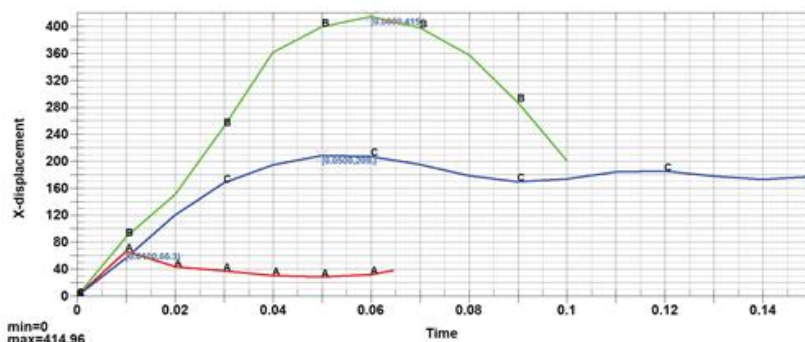


Figura 13. Desplazamiento en x en diferentes diseños bumper (A. Original; B. Fibra de cabuya; y C. Fibra de carbono)
(Autores)

En la tabla 9 podemos visualizar los resultados obtenidos de la simulación en el programa LS-DYNA de la deformación, el esfuerzo máximo de Von Mises y el tiempo en el que se consideró para el análisis de los diferentes diseños del bumper de la investigación con los diferentes materiales.

Tabla 9. Resumen de resultados obtenidos en el programa LS-DYNA de los diferentes diseños de bumper.

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN			
Material	Material Original	Material de resina epoxi con fibra de cabuya	Material de compuesto de fibra de carbono
Unidades			
Tiempo (s)	0,01	0,03	0,05
Esfuerzo máximo Von Mises (MPa)	2361,69	467,306	2613,29
Deformación máxima (mm)	66,3	-	209

Fuente: Autores

3.5 Análisis para la validación de resultados

Para validar los resultados obtenidos de las simulaciones expuestos anteriormente, se replicó en un ensayo de compresión real con un simulado y se hizo un contraste a los valores obtenidos para de esta manera encontrar la variación existente en este estudio.

La probeta que se construyó para validar los resultados se basó al modelo optimizado a escala, el cual, se ajustó a algunos requisitos de la máquina de ensayos de compresión, como también algunos requisitos para el proceso de construcción. Las dimensiones y geometrías del atenuador a escala construido se detallan en la figura 14.

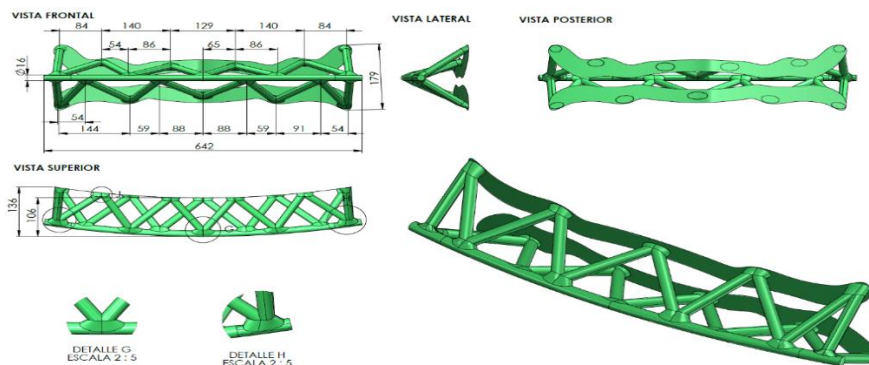


Figura 14. Dimensiones de probeta para ensayo de compresión, largo 642 mm, ancho máx. 136 mm, alto 179 mm
(Autores)

Para la construcción de la probeta se realizó un molde con tuberías de plástico, cartón y acero en base a las dimensiones que se detallan en los planos de la figura anterior, una vez listo el molde se procedió a colocar las fibras de cabuya por los agujeros de las tuberías siguiendo la orientación que mejor se puedan colocar, tratando de seguir lo indicado en la investigación del material seleccionado, una vez que se colocó las fibras en el molde, se coloca resina epóxica y se utilizó el secante adecuado para que se fusione con las fibras, como se puede observar en la siguiente figura 15.



Figura 15. Proceso de construcción de la probeta para ensayo de compresión
(Autores)

3.6 Ensayo INEN

El proceso de ensayo en la máquina universal es bastante simple, comenzó con la colocación de unas bases donde se apoyó la probeta, luego se fijó las bases para que coincida con el centro de la pieza, para realizar la prueba de esfuerzo se contó con un pistón de 20 cm de radio que bajó lentamente hasta la probeta y la comprimió progresivamente, al observar una ruptura se finalizó el ensayo. Cabe decir que todo el proceso fue gestionado electrónicamente y supervisado por un técnico. Los resultados obtenidos por parte del ensayo físico de compresión se pueden visualizar en la figura 16.


 SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN		LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS		Hoja N° 1 de 2	
Edición: 05					
INFORME DE RESULTADOS N°		LE-2021-068		FECHA: 2021-02-09	
INFORMACIÓN GENERAL					
N° SOLICITUD DE TRABAJO:		ST-2021-037			
ENTIDAD/EMPRESA ⁽¹⁾ :		Agente Lenin y Guevara Ronald			
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:		2020-02-08	E-MAIL ⁽¹⁾ :		rdguezarag@uta.edu.ec
MUESTREO/ TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR ⁽¹⁾ :		No Aplica	ACTA N° ⁽¹⁾ :		No Aplica
CARGA MÁXIMA					
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:		2021-02-08			
NORMA DE REQUISITOS ⁽¹⁾ :		No Aplica			
MÉTODO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :		LE-PTI-G-18			
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:		LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES			
CONDICIONES AMBIENTALES:		Temperatura, °C:	No Aplica	Humedad Relativa, %:	No Aplica
EQUIPOS UTILIZADOS:		Máquina Universal Código: 2409			
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :		Prototipo basado en bumper de Toyota Yaris con material compuesto y optimizado topológicamente		MARCA ⁽¹⁾ :	No Aplica
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:		OE-2021-037-01	CÓDIGO DE CLIENTE ⁽¹⁾ :		No Aplica
Carga máxima kN		Carga máxima kgf		Observaciones	
0,89		90,4		El objeto de ensayo presenta rotura en la base de la estructura	

Figura 16. Hoja técnica entregada por el INEN (Autores)

La fuerza con la que la probeta se rompió fue de 0.89 kN, la rotura se produjo en las bases del modelo como se puede ver en rojo de la figura 17 mostrada a continuación.



Figura 17. Probeta durante el ensayo INEN (Autores)

3.7 Simulación Computacional En Comparativa Del Ensayo INEN

Se procede reiteradamente a realizar una simulación computacional similar al ensayo del laboratorio y de esta manera tener una mejor comprensión de lo sucedido; con la finalidad de realizar de nuevo un análisis y poder dar respuesta del porqué de los distintos resultados obtenidos entre el ensayo experimental real y la simulación computacional.

Al diseño de bumper propuesto juntamente con los datos del material compuesto, se le realizó una generación de malla tipo “Shell” con la finalidad de reconocer el número de elementos y nodos del diseño para analizar nuevamente; tal y como se puede apreciar en la figura 18 a continuación.

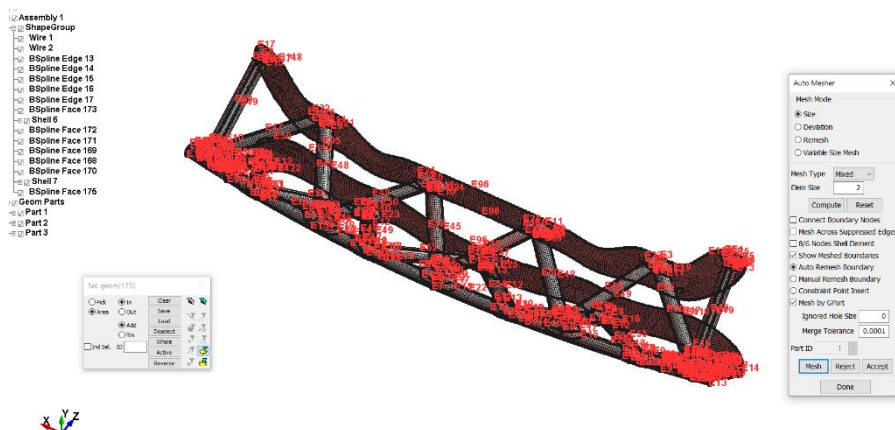


Figura 18. Generación de malla de elementos finitos de tipo Shell, número de elementos 49040 y número de nodos 48994 (Autores)

Se aplicó el tipo de malla al cilindro el cual ejecutó la carga con un diámetro de 40 mm y una longitud de 200 mm; también se modeló una base plana, en ambos modelos se aplicó una malla de tipo sólido.

Para el ensayo se aplicó una carga máxima de 890 N (la cual fue la carga en la que se produjo la fisura en las bases del bumper en el ensayo experimental), distribuida en 19178 nodos del cilindro que corresponde a una carga de 0.046 N por cada nodo, esta carga se aplicó de manera gradual, las mismas que se incrementó de 0 a 0.046 en un tiempo de 1 segundo. Se aplicó la carga utilizando la carta de control *LOAD en dirección a Z negativo y esta carga es asignada por medio de la curva mostrada en la figura 19.

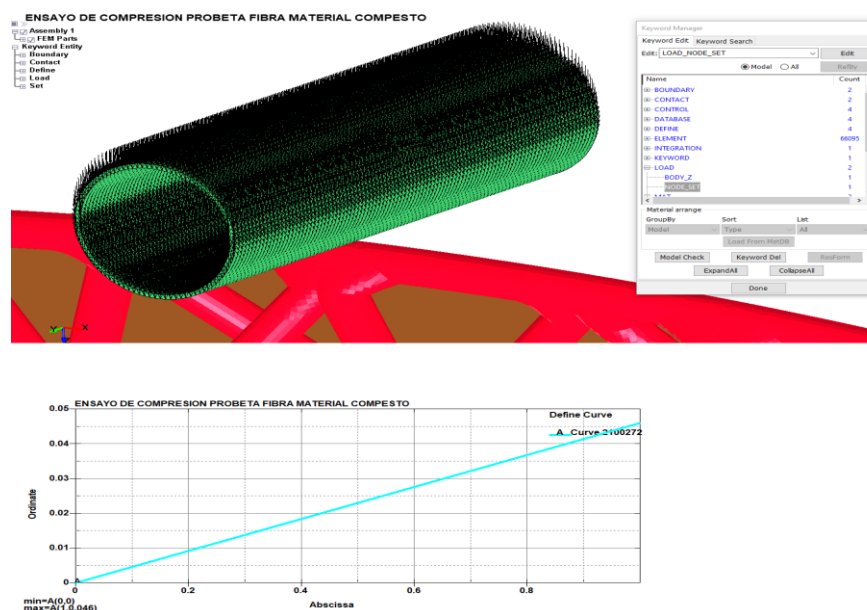


Figura 19. Gráfico superior asignación de carga en cada nodo del cilindro para la simulación de compresión, gráfico inferior curva de carga (Autores)

Otra condición en el modelo de simulación son los soportes fijos que se asignaron para el piso restringiendo todos los grados de libertad y de igual manera para en el cilindro de impacto a excepción de la dirección en Z, que es la dirección de movimiento de traslación de este para la aplicación de la carga.

En el ensayo real la probeta se rompe en sus bases, esto es debido a que las capas de fibra de cabuya y resina al ser difícil su colocación en dichas partes representaban zonas de poca resistencia estructural y debido a esta anomalía estas partes se rompieron al momento de aplicar la carga de compresión efectuada en la máquina universal

Al realizar un análisis con simulación computacional de los esfuerzos combinados de Von Mises podemos observar en la figura 20 que el tiempo 0.499 segundos antes que la estructura se rompa el esfuerzo máximo se distribuye en las bases de los refuerzos triangulares, porque es en este momento en el que las bases defectuosas se rompen en el modelo real, esto no sucede en la simulación debido a que el material y la capas están configuradas de manera homogénea.

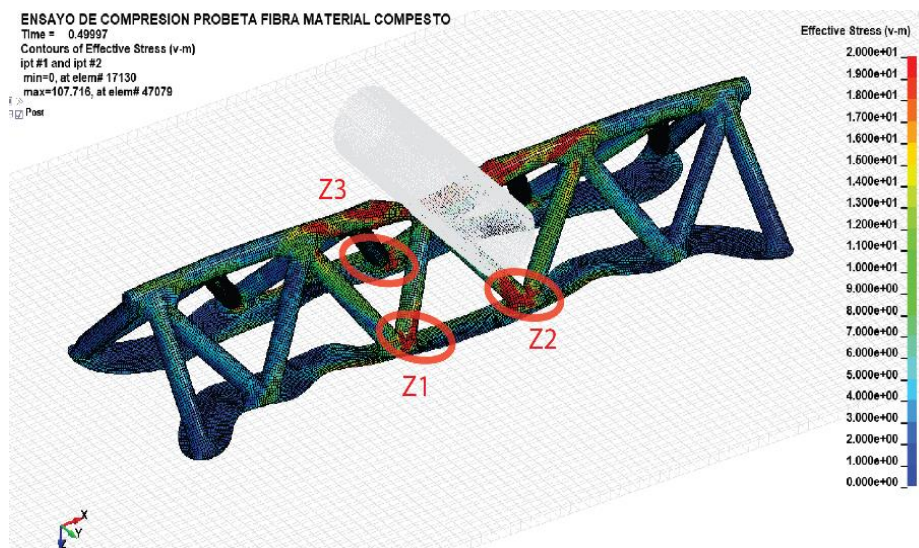


Figura 20. Simulación ensayo computacional en la probeta del material compuesto (Autores)

4. CONCLUSIONES

En el proceso de selección del material compuesto idóneo para el desarrollo de la investigación, la fibra de cabuya con resina epoxi fue el material con mayor ponderación del recopilatorio de los diversos materiales y a su vez por las características que contiene el material se prestó para la elaboración de los distintos procesos que se realizan en la investigación, tanto desde el ámbito computacional hasta el proceso de manufactura.

Mediante el uso de software CAD (SolidWorks) se propuso tres prototipos de elementos estructurales con diferentes triangulaciones geométricas en base a los resultados obtenidos de la simulación de optimización topológica por el software Ansys Beta Cae, que por medio de un proceso de selección simulado (con la ayuda del software CAE LS-Dyna) se seleccionó el mejor prototipo para la investigación, el cual, el prototipo A presento mejores condiciones y conjuntamente una menor deformación que los demás modelos propuestos.

Se realizó el análisis estructural a los diferentes modelos de la investigación como fueron el bumper original y optimizado por medio de un software CAE, este último se aplicó las condiciones del material idóneo seleccionado (fibra de cabuya y resina epóxica) y además de un material con mejores propiedades mecánicas (fibra de carbono), con el fin de tener resultados diferentes para una comparación, en donde los tres modelos diferentes se los simuló en condiciones bajo un mismo escenario siendo el material compuesto idóneo el de resultados no óptimos en relación a los demás.

Se manufacturó el modelo más idóneo con el material compuesto elegido y se validó los resultados de la simulación CAE mediante un ensayo experimental dando como resultado que el prototipo fabricado con fibra de cabuya/resina epoxi y optimizado topológicamente no cumple con los parámetros de esfuerzos para aplicarse en compuestos estructurales automotrices.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Pertuz *et al.*, "Estudio de la fatiga en láminas de tubería compuesta de matriz epóxica con fibra de vidrio para cargas de tracción," *Sci. Tech.*, vol. 23, no. 4, pp. 479–489, 2019.
- [2] J. Paredes Salinas, C. Pérez Salinas, and C. Castro Miniguano, "Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz," *Universidad Tecnológica Equinoccial*, Quito, pp. 1–15, Jun-2017.

- [3] A. Nava, M. S. Hernandez, B. Gonzale, and K. Gomez, "Análisis comparativo de laminados de materiales compuestos para la aplicación de prótesis transtibial," *XXIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, Campeche, pp. 42–46, Sep-2018.
- [4] V. González, Á. Barrios Padura, and M. Molina Huelva, "Proyectos de rehabilitación estructural. La sostenibilidad de los refuerzos con materiales compuestos," Sevilla, 2017.
- [5] J. C. Rocha Hoyos, E. A. Llanes Cedeño, D. Peralta Zurita, and M. Pucha Tambo, "Caracterización mecánica a flexión de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D," *Ingenius*, no. 22, pp. 100–112, 2019.
- [6] V. P. Pachacama Nasimba, "Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta mazda bt50 2010," Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2015.
- [7] R. B. Ayala Pantoja and E. J. Morán Hernández, "Diseño, simulación y construcción de un parachoques mediante un material compuesto de resina epóxica y refuerzo de fibras orgánicas de cabuya," Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2021.
- [8] B. V. Valencia Cuaical and W. P. Pozo Martínez, "Utilización de la fibra de cabuya para reforzar una matriz polimérica y conseguir un material compuesto para uso automotriz," Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2020.
- [9] C. Quiroz and L. Castro, "Elaboración de un material compuesto utilizando nanofibra de carbono por termoconformado," Universidad Técnica del Norte, 2018.
- [10] W. Vaca and P. Mazón, "Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales," UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2018.
- [11] C. Arroba and M. Telenchana, "Análisis numérico experimental de los componentes del material compuesto alternativo de matriz epoxi reforzada con fibras sintéticas utilizado para la fabricación y reparación de superficies de vuelo en las aeronaves del CIDFAE," UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2020.
- [12] M. Castro, "Las partes de la estructura de un chasis," *Automexico*, 23-Nov-2020. [Online]. Available: <https://automexico.com/mantenimiento/que-es-un-chasis-de-carro-aid5447>. [Accessed: 28-Mar-2022].
- [13] M. S. FirstStop, "¿Qué elementos incluye la seguridad pasiva del vehículo?," *Decaminofirststop*, 30-Apr-2019. [Online]. Available: <https://decaminofirststop.es/blog/qué-elementos-incluye-la-seguridad-pasiva-del-vehículo>. [Accessed: 28-Mar-2022].
- [14] L. Fontboté, "Recursos minerales del futuro," *ProExplor*, vol. XICONGRESO INTERNAL, pp. 22–26, 2019.